Aus der Klinik für Pferdekrankheiten
der Freien Universität Berlin
Direktor: Prof. Dr. med. vet. E. Becker

Telemetrische Untersuchungen der Atemfrequenzen von Reitpferden in allen Gangarten und beim Springen

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
durch die
Veterinärmedizinische Fakultät der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Dietmar Specht

Tierarzt aus Hamburg

Berlin 1965

Journal-Nr. 491

Druck:

ERNST-REUTER-GESELLSCHAFT
der Förderer und Freunde der Freien Universität Berlin e.V.

DISSERTATIONS-DRUCKSTELLE

1 Berlin 33, Garystr. 45

Aus der Klinik für Pferdekrankheiten
der Freien Universität Berlin
Direktor: Prof. Dr.med.vet. E. Becker

Telemetrische Untersuchungen der Atemfrequenzen von Reitpferden in allen Gangarten und beim Springen

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
durch die
Veterinärmedizinische Fakultät der Freien Universität Berlin

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

vorgelegt von

Dietmar Specht

Tierarzt aus Hamburg

Berlin 1965

Journal-Nr. 491

Gedruckt mit Genehmigung der Veterinärmedizinischen Fakultät
der Freien Universität Berlin

Dekan: Professor Dr. J. Boch
Referent: Professor Dr. E. Becker
Korreferent: Professor Dr. G. Wittke

Tag der mündlichen Prüfung: 24. Februar 1965

Dem Andenken meines Grossvaters

Gliederung

A. Einleitung

B. Schrifttum

1. Kurze Allgemeinangaben über die Physiologie der Atmung mit speziellen Werten für das Pferd.
2. Einige Methoden zur Prüfung der Lungenventilation und Lungenmechanik.
3. Spezielle Untersuchung der Lungenmechanik beim Pferd.
4. Telemetrische Bestimmung physiologischer Werte.

C. Eigene Versuche

1. Apparatur und Methodik.
2. Durchführung der Versuche.

D. Ergebnisse

1. Feststellungen.
2. Auswertung der Ergebnisse.

E. Zusammenfassung.

F. Anhang: Kurven und Tabellen.

G. Literaturverzeichnis.

A. Einleitung

Das Pferd ist seit frühester Zeit ein treues Haustier des Menschen. Es hat im Verlauf von Jahrhunderten unschätzbare Dienste als Last-, Zug- und Reittier erwiesen. Auch heute ist das Pferd in vielen Entwicklungsländern unentbehrlich, doch ist das in der Wirtschaft verwendete Pferd bei uns bereits zu einer Seltenheit geworden. Dafür gewinnt das Sportpferd in der letzten Zeit an Bedeutung. Galopprennen, Trabrennen und Reitturniere üben eine immer größere Anziehungskraft auf die mit der Technik lebenden Menschen aus. Der sog. zweite Weg des Reitens, das Wandern zu Pferde, findet eine ständig wachsende Zahl von Anhängern. So wünschenswert diese Begeisterung einerseits ist, so nachteilig kann sie sich andererseits auswirken. Vielen, die sich heute mit dem Pferd beschäftigen, fehlt ein fundiertes Wissen um dieses Tier. Verdorbene, lahme und überforderte Pferde sind oft die Folge.

Neben dem subjektiven Wissen spielt die objektive Beurteilung einer vom Pferd verlangten Leistung und die objektive Feststellung der damit verbundenen Auswirkungen auf das Tier eine große Rolle. Es ist daher erforderlich, die in der Ruhe bekannten physiologischen Werte auch während der Belastung messen und registrieren zu können.

Das Atmungsverhalten beim Pferd während der Arbeit zu beobachten und zu registrieren, ist ein seit langem bestehendes Anliegen. Die Literatur enthält eine ganze Reihe von Arbeiten, die sich mit diesem Problem und mit der Beziehung zwischen Atmung und Leistung des Pferdes befassen. Fortschritte der Technik zeigten und zeigen hier immer neue Wege. Einen kleinen Beitrag zur Lösung der Frage mit Hilfe der drahtlosen Übertragung liefert die hier vorliegende Arbeit.

Die Versuche wurden angeregt durch das Institut für Veterinärphysiologie der Freien Universität Berlin (Prof.Dr.

G. wittke). Den systematischen Untersuchungen, welche dieser Arbeit zugrunde gelegt sind, gingen im Laufe von zwei Jahren eine große Zahl von Vorversuchen bei vielen Pferden voraus.

Bei den beschriebenen Versuchen an 22 Reitpferden wird in allen Gangarten und unter verschiedenen Bedingungen die Atemfrequenz gezählt. Das Atmungsverhalten von Pferden beim Überwinden von Hindernissen wird beobachtet. Es wird untersucht, ob eine Beziehung zwischen Atmungs- und Bewegungsrhytmus besteht. Schließlich wird die Frage geprüft, ob nach dem Verhalten der Atmungsfrequenzen auf den Trainingszustand der Pferde und damit auf ihre Kondition zu schließen ist.

B. Schrifttum

1. Kurze Allgemeinangaben über die Physiologie der Atmung mit speziellen Werten für das Pferd. (13,25,30,32,36)

Für die im Körper ablaufenden Verbrennungsvorgänge ist die Aufnahme von Sauerstoff unbedingt erforderlich. Die Endprodukte dieser Oxydationsprozesse sind Kohlendioxyd und Wasser. Das Wasser bleibt entweder im Körper oder wird unter anderem im Harn und Schweiß ausgeschieden. Das Kohlendioxyd muß auf andere Weise aus dem Körper entfernt werden. Diese CO_2-Abgabe und die Aufnahme von O_2 gehören zum Begriff der Atmung, der insgesamt die Funktion der Atmungsorgane, den Gasstoffwechsel der Zellen und die Transportfunktion des Blutes für Sauerstoff und Kohlendioxyd umfaßt. Die Lungenatmung wird als äußere, die Gewebsatmung als innere Atmung bezeichnet.

Zur äußeren Atmung gehören einmal die mechanischen, zum anderen die Steuerungsvorgänge. Die Atemluft wird durch die luftzuführenden Wege wie Nasenhöhlen, Schlundkopfhöhlen, Kehlkopf, Luftröhre und Bronchien zu den Lungenalveolen geleitet. Die Beschaffenheit dieser Atemwege ist für die Ventilationsbedingungen von besonderer Bedeutung. Von ihren Abmessungen hängen die Widerstände ab, die von der Atemmuskulatur zu überwinden sind. Der Durchflußwiderstand in dem größten Teilstück der luftzuführenden Wege, der Luftröhre, wurde 1960 von KOPPLOW (26) beim Pferd eingehend untersucht.

Damit die Lungenalveolen gleichmäßig mit Luft gefüllt werden können, ist eine gleichmäßige Ausdehnung der Lungen erforderlich. Im Lehrbuch von SCHEUNERT und TRAUTMANN (32) wird die Entstehung dieser Ausdehnung darauf zurückgeführt, daß die Lunge luftdicht abgeschlossen in der Pleurahöhle liegt. Daher haftet die Pleura pulmonalis der

Pleura parietalis und somit der Thoraxwand durch Adhäsion an. Durch diese Adhäsionskraft ist die Lunge gezwungen, den Bewegungen des Brustkorbes zu folgen. SPÖRRI und LEEMANN (33) stellen fest, daß die Adhäsionskraft nicht $^1/_{2000}$ der Retraktionskraft der Lunge ausmacht. Nach ihrer Meinung ist es die unter Druck stehende Atmosphärenluft, "welche die leicht dehnbaren Lungenalveolen aufbläht, und zwar so lange, bis die Lungenoberfläche dicht der Thoraxwand anliegt." Der Widerstand, den die Lunge der Blähung entgegensetzt, ist die Retraktionskraft bzw. der elastische Lungenzug.

Der elastische Lungenzug, die Erschlaffung der Inspirationsmuskulatur und der Druck der Baucheingeweide bewirken die Exspiration, die daher ein rein passiver Vorgang ist. Dagegen ist die Inspiration ein aktiver Prozess. Sie wird durch die Kontraktion der Inspirationsmuskeln erreicht. Der wichtigste Atemmuskel ist das Zwerchfell. Er wird in seiner Wirkung von einer Reihe anderer Muskeln unterstützt, z.B. Mm.intercostales externi, M.transversus costarum etc.. Als äußerlich sichtbare Folge der Zwerchfellskontraktion vergrößert sich der Bauchumfang, sekundär erfolgt dann eine Vergrößerung des Brustkorbes. Je nach Überwiegen der einen oder anderen Form spricht man von einem costalen oder abdominalen Atemtyp. Die Form, bei der Brust- und Bauchatmung in gleicher Weise sichtbar sind, wird costoabdominaler Atemtyp genannt. Das Pferd wird von verschiedenen Autoren verschiedenen Atemtypen zugeordnet. So untersuchte FORSTER (16) 1935 12 Pferde. Bei 5 Pferden fand er eine costoabdominale Atmung, die übrigen 7 Pferde atmeten costal. Im Lehrbuch von SCHEUNERT und TRAUTMANN (32) rechnet die Atmung des Pferdes zum costalen Typ. Ebenso ist nach KETZ (25) die Atmung des Pferdes als costal anzusehen. WITTKE (36,38) stellt ausdrücklich fest, daß die Atmung des Pferdes abdominal oder diaphragmatisch ist. Er erhärtet diese Feststellung durch einen Versuch, bei dem die Diaphragmabewegungen eines Pferdes mittels Durchleuch-

tung dargestellt wurden. Nach Tötung des Pferdes wurde das Zwerchfell herausgelöst und planimetriert. Danach wurde der inspiratorische Zwerchfellshub berechnet.

Bei der Betrachtung der äußeren Atmungsvorgänge sind auch die intrathorakalen Druckverhältnisse von Bedeutung. Unter intrathorakalem Druck oder Interpleuraldruck versteht man den Druck, der im Interpleuralspalt vorhanden ist. Der Interpleuraldruck ist negativ. Die Entstehung der negativen Werte ist durch die Retraktionskraft der Lungen erklärlich. Nach KETZ (25) und SCHEUNERT - TRAUTMANN (32) ist es die der Retraktionskraft entgegenwirkende Adhäsion zwischen beiden Pleurablättern, die die negativen Werte des Interpleuraldrucks verursacht. Nach SPÖRRI und LEEMANN (33) wirkt der Interpulmonaldruck dem elastischen Lungenzug entgegen. "Infolge der Retraktionskraft liegt die Lungenoberfläche nicht mit dem vollen Druck, der im Innern der Lunge herrscht, der Brustwand an. Der Druck im Interpleuralspalt ist daher kleiner als der Interpulmonaldruck. Mit anderen Worten: Im Interpleuralspalt herrscht ein gewisser Unterdruck." Die Werte des Interpleuraldrucks werden für das Pferd von BENDELE (7) 1911 mit -50 bis -60 mm Hg angegeben. MC CUTCHEON (12) gibt diese Werte 1951 mit -6 bis -16 mm Hg an.

Atemfrequenz bedeutet die Anzahl der Atemzüge pro Zeiteinheit. Sie ist von Anstrengung, Erhöhung der Außentemperatur, Futteraufnahme, Trächtigkeit und anderen Faktoren abhängig. Die durchschnittliche Atemfrequenz beim Pferd in der Ruhe beträgt 12 bis 20 Atemzüge pro Minute.

Die bei der Ein- und Ausatmung bewegte Luftmenge heißt Atemvolumen oder Respirationsluft.Die nach einer normalen Einatmung durch möglichst tiefe Inspiration noch inspirierbare Luftmenge nennt man das inspiratorische, die nach einer normalen Ausatmung noch exspirierbare Luftmenge das exspiratorische Reservevolumen. Diejenige Luftmenge, die nach einer maximalen Inspiration durch eine maxi-

male Exspiration entleert werden kann, stellt die Vitalkapazität der Lunge dar. Die noch nach maximaler Exspiration in der Lunge verbleibende Luftmenge ist die Residualluft. Sie ergibt gemeinsam mit der Vitalkapazität die Totalkapazität der Lunge. Die pro Zeiteinheit gewechselte Luftmenge wird als Atemzeitvolumen definiert. Diese Volumina haben beim Pferd folgende Werte (25,32,13) :

Inspiratorisches Reservevolumen	12 ooo ml
Exspiratorisches Reservevolumen	12 ooo ml
Residualvolumen	12 ooo ml
Vitalkapazität	30 ooo ml

Die Steuerung der Atmung erfolgt auf direktem oder indirektem Wege durch das Atemzentrum, welches im verlängerten Rückenmark gelegen ist. Dieses Atemzentrum ist in drei Teile gegliedert, das Inspirationszentrum, das Exspirationszentrum und das pneumotaktische Zentrum. Die Zusammenarbeit dieser Zentren wird im Lehrbuch von ROSSIER, BÜHLMANN und WIESINGER (30) so geschildert:

"Wenn das inspiratorische Zentrum gereizt wird, erfolgt auch eine Stimulierung des pneumotaktischen Zentrums, welches seinerseits das exspiratorische Zentrum aktiviert, wodurch das inspiratorische Zentrum gehemmt wird." Die Reizung des Atemzentrums geschieht auf dem Blutwege, wobei als Hauptreiz der CO_2 - Druck des Blutes gilt. Steigt der CO_2 - Druck im Blut an, wird das Atemminutenvolumen erhöht. Zu dieser direkten chemischen Beeinflussung des Atemzentrums kommt eine chemische Reizung, die indirekt über sog. Chemorezeptoren erfolgt. Diese Chemorezeptoren liegen im Blutgefäßsystem, hauptsächlich im Bereich des Carotissinus und werden sowohl durch erhöhten CO_2 - Gehalt als auch durch O_2 - Mangel im Blut erregt. Die Weiterleitung dieser Erregungen besorgt der N.glossopharyngicus, als dessen sensible Endigungen man die genannten Chemorezeptoren ansehen kann. Außer auf diesem Wege wird das Atemzentrum durch den N.vagus beeinflußt, dessen sen-

sible Endigungen sich als Dehnungrezeptoren in der Lunge befinden. Je nach dem Ausdehnungsgrad der Lunge wird über den Vagus das Inspirations- oder das Exspirationszentrum gehemmt. Es kommt zur Selbststeuerung der Atmung. Schließlich ist noch die reflektorische Steuerung der Atmung zu nennen. Durch diese Form werden vor allen Dingen die Schutzreflexe, z.B. Husten und Niesen ausgelöst. Aber auch alle Änderungen der Atmung infolge von Erregungen , die von fast allen Teilen des Körpers aus wirken können, sowie die Auswirkungen von psychischen Einflüssen auf die Atmung gehören zu diesem Begriff.

Die Zusammensetzung der Inspirationsluft ist verhältnismäßig konstant, während die der Exspirationsluft stark variiert. Auf jeden Fall ist jedoch in der Ausatmungsluft der O_2 -Gehalt um 2 bis 4 Vol.% kleiner als in der Einatmungsluft und der Gehalt an CO_2 um einen ähnlichen Betrag größer. Eine wichtige Rolle beim Gasaustausch spielen die luftzuführenden Wege. Dieser sog. Totraum bedingt, daß bei der Exspiration zuerst Frischluft ausgestoßen wird. Umgekehrt gelangt bei der Inspiration anfangs verbrauchte Luft in den Alveolarraum.

Die mit der Einatmungsluft in die Lungen eingezogene Sauerstoffmenge muß im Körper weiter transportiert werden, um an die Zellen zu gelangen, in denen der Sauerstoff seine Funktion im Stoffwechsel übernimmt. Diesen Transport übernimmt das Blut. Man spricht von der Atemfunktion des Blutes. Das O_2 wird im Blut an die Erythrozyten und dort an das Haemoglobin gebunden. Diese Verbindung ist leicht dissoziierbar. Daher hängt das Verhältnis von Haemoglobin zu Oxyhaemoglobin vom Partialdruck des O_2 ab. Bei dem in der Luft und in den Lungen vorhandenen O_2 -Druck wird das Haemoglobin vollständig mit Sauerstoff gesättigt. Der Gasaustausch in der Lunge ist also von der O_2 -Druckdifferenz zwischen Lunge und Blutflüssigkeit abhängig. Dieser Vorgang vollzieht sich beim Gasaustausch zwischen Blut

und Gewebsflüssigkeit im Prinzip ebenso. Hier gilt die Regel, daß der Gasaustausch umso vollständiger ist, je langsamer das Blut durch die Kapillaren fließt. Während die chemische Bindung des Sauerstoffs im Blut - ein geringer Teil wird physikalisch absorbiert - nur an den roten Blutkörperchen erfolgt, wird das CO_2 sowohl in den Erythrozyten als auch im Blutplasma chemisch gebunden. Auch hier wird ein kleiner Teil physikalisch gelöst. Das CO_2 Druckgefälle ist wieder maßgebend für die Diffusion des Kohlendioxyds in das Blut.

2. Einige Methoden zur Prüfung der Lungenventilation und Lungenmechanik.

HUTCHINSON (20) prägte 1846 den Begriff der Spirometrie. In der Spirometrie geht es um die Messung der von der Lunge aufgenommenen und abgegebenen Luftmengen (3). Es werden das offene und das geschlossene System unterschieden. Bei Verwendung des offenen Systems atmet die Versuchsperson entweder Außenluft oder ein anderes bestimmtes Gasgemisch ein und atmet in ein Sammelgefäß aus. Einatmungsteil und Ausatmungsteil sind voneinander getrennt. Bei dem geschlossenen System erfolgt die Einatmung aus demselben Behältnis, in das ausgeatmet wird. Das exspirierte CO_2 wird durch Absorption entfernt.

Die einfachste Anordnung eines offenen Systems sieht folgendermaßen aus (3) : Zwischen zwei Ventile, das Inspirations- und das Exspirationsventil, wird ein Anschluß gelegt, durch den die Versuchsperson atmet. Durch das Einatmungsventil wird Außenluft eingeatmet, durch das Ausatmungsventil gelangt die Exspirationsluft in einen Douglassack. Durch Zwischenschaltung einer Gasuhr zwischen Exspirationsventil und Auffangbehälter läßt sich gleichzeitig das exspiratorische Atemzeitvolumen messen.

Das einfachste geschlossene System entwickelte KROGH (27) 1922. Er füllte einen rechteckigen Kasten mit Wasser und baute in diesen einen kleineren mit einem Natronkalkeinsatz versehenen Kasten ein. Die mit Sauerstoff gefüllte rechteckige Spirometerglocke besaß in ihrem frei beweglichen Ende einen Schreibhebel, der die Atemkurve registrierte. Die Luft strömte zuerst durch den Natronkalk, wo das Kohlendioxyd absorbiert wurde, danach in das Spirometer und dann zur Versuchsperson. Die bei der CO_2 -Absorption entstehende Wärme kann Fehler in der Berechnung des Sauerstoffverbrauchs bedingen, da sie die Spirometergase ausdehnt. Daher befand sich an der Glocke

ein Thermometer. Die hier gemessene Temperatur wurde bei der Berechnung der Atemvolumina berücksichtigt.

Mit der Pneumo- oder Thorakographie werden die Atembewegungen des Brustkorbes registriert. ANTHONY (1) teilt die Methoden der Thorakographie in drei Gruppen: Die Messung des Thoraxdurchmessers, die gleichzeitige Registrierung von verschiedenen Thoraxpunkten und die Registrierung von Querschnittsänderungen des Thorax.

Bei der Bestimmung des Thoraxdurchmessers wird die Änderung der Entfernung zweier Thoraxpunkte mit sog. Stethometern gemessen.

Zur gleichzeitigen Registrierung von verschiedenen Thoraxpunkten wurde von ANTHONY und HANSEN (2) 1934 die im folgenden kurz beschriebene Apparatur angegeben: Zuerst wurden mittels einiger 4 cm^2 großer Heftpflasterstücke die Punkte markiert, deren Bewegung registriert werden sollte. In der Mitte jedes Pflasters wurde ein kleiner Ring angebracht, von dem ein Faden über einige Rollen zu einem Zeiger lief. Durch die Rollen wurde der Faden so gelegt, daß er in der Bewegungsrichtung der Brustwandbewegungen ausgespannt war. Das Ende des Fadens wurde an einem Aluminiumhebel, mit dem die Bewegungskurve registriert wurde, befestigt. Der Hebel wurde durch ein kleines Gegengewicht derartig belastet, daß der Faden richtig gespannt war. Diese bilaterale Thorakographie stellte eine wertvolle Ergänzung der Inspektion dar, weil es nicht einfach ist, beide Brustseiten gleichzeitig zu beobachten. Für die Diagnostik war sie insofern von besonderer Bedeutung, als sich pathologische Veränderungen deutlich in einseitiger Behinderung der Atmung auswirken können.

Bei der Registrierung von Querschnittsänderungen verwendete WITZENHAUSEN (41) 1895 einen 3 cm breiten mit einer Schnalle auf den jeweiligen Brustkorbumfang einstellbaren

Lederriemen. Dieser Lederriemen stand auf einer Seite fest mit einer Hartgummikapsel in Verbindung. Auf der anderen Seite war er mit 2 Federn und einem dünnen Stahlbändchen mit dieser Kapsel beweglich verbunden. Die Atembewegungen wurden so mit dem Stahlbändchen auf ein in der Kapsel befindliches Zeigerwerk übertragen. War in dem Zeigerwerk eine Arretierung angebracht, konnte auch die Gesamtsumme der Atembewegungen nach einer gewissen Zeit abgelesen werden.

Einen besonderen Pneumographen beschrieb ZU JEDDELOH (23) 1938. Er meinte, daß ein Fehlschluß vorlag, wenn aus der Bewegung eines Brustwandabschnittes auf die Gesamtatmung geschlossen wurde. Er nahm daher drei Ableitungen ab, eine in Achselfaltenhöhe, eine in Höhe des Schwertfortsatzes und eine am Nabel. Als Ableitung diente ihm eine luftgefüllte Kondomblase mit einem Innendruck gleich 5 cm Wasser, die in einem Gurt befestigt wurde. Die Blase wurde mit ihrem offenen Ende auf ein Glasrohr gezogen. Ein von diesem abgehender 1,5 m langer Gummidruckschlauch endete am Hals eines Glastrichters, der an seinem weiteren Ende mit einer Gummimembrane verschlossen wurde. An diesen ersten Luftraum schloß sich ein mit einem zweiten Trichter beginnender Luftraum an, der in einer Frank'schen Kapsel endete. Mit einem Photokymographion wurden die Bewegungen des Spiegelchens, das auf dem Kondomüberzug der Kapsel angebracht war, registriert. Durch die drei Ableitungen erhielt ZU JEDDELOH " ein gutes Bild vom zeitlichen Ablauf, wie von der relativen Größe der Bewegung der verschiedenen, für die Atmung in Betracht kommenden Rumpfabschnitte."

Durch pneumo- bzw. thorakographische Messungen bestimmte ZIMMER (42) 1936 die Atemfrequenz bei Vögeln. Je nach den verschiedenen Bewegungsmöglichkeiten brachte er bei den einzelnen Arten auch unterschiedliche Methoden zur Anwen-

dung. Beim Kleinvogel verwendete er ein Gerät, das wie ein Morseapparat arbeitete. Er ließ durch die starken Sternumbewegungen einen elektrischen Kontakt auslösen. Bei Krähen und Tauben benutzte er die Änderung des Sternum-Beckenabstandes, um einen Schreibhebel bewegen zu lassen. Bei Schwimmvögeln nutzte er die Breitenänderungen des Thorax zur Atemfrequenzbestimmung aus.

Ebenfalls als Pneumograph arbeitete das 1944 von SCHAEFER (31) beschriebene Gerät zur Registrierung der Atmung. Auf einen Hartgummistab wurden Kohleringe aufgereiht, danach an jedem Ende eine Silberscheibe. Durch Hartgummischeiben wurde das Ganze isoliert. Stab und Scheiben wurden in einem soliden Metallgehäuse durch eine Andruckfeder gehalten. Dieses Gehäuse war auf einem Bakelitklotz befestigt, an dessen Ende ein Gurt angebracht war, der um den Brustkorb der Versuchsperson oder des Versuchstieres gelegt wurde. Am vorderen Ende des Gummistabes befand sich eine Öse, von der aus ein Faden über eine Rolle zu einer Stahlfeder lief, die sich durch die Atembewegungen deutlich ausziehen ließ. Die Feder ging in einen Gurt über, der mit dem Gurt der anderen Seite fest verklemmt wurde. Nach Anschluß an eine Brückenschaltung erfolgte die Registrierung mit einem Galvanometer. Atemfrequenz, Mittelstellung des Thorax und relative Amplitude der Atemzüge konnten abgelesen werden. Den besonderen Vorteil seiner Konstruktion sah SCHAEFER so: " Es war möglich, Zahl und Tiefe der Atemzüge auf große Entfernungen und so stabil aufzuzeichnen, daß eine durch Detonation erzeugte Luftstoßwelle, die das Tier tötete, den Apparat nicht zerstören konnte."

Um eine vollständigere Analyse der Atmungsform vornehmen zu können, als sie durch die nur Volumenwerte darstellende Kurve des Spirogramms möglich ist, konstruierte FLEISCH (14) einen sog. Pneumotachographen. Er schuf damit den

Begriff der Pneumotachographie, das ist die Messung und Registrierung der Geschwindigkeit des Stromes der Atemluft.

Sein Apparat arbeitete nach dem Prinzip eines Differentialmanometers. Nach dem POISEULLE'schen Gesetz ist das Stromvolumen bei laminarer Strömung durch ein starres Rohr der Druckdifferenz an zwei Stellen dieses Rohres direkt proportional. Wird diese Druckdifferenz optisch registriert, ergibt sich eine Kurve, die in ihren Ordinatenwerten das Stromvolumen pro Zeiteinheit und damit die Stromgeschwindigkeit anzeigt. Da bei Turbulenz der Strömung keine lineare Beziehung zwischen Druckdifferenz und Stromgeschwindigkeit besteht, war es wichtig, diese zu vermeiden. So verteilte FLEISCH den gesamten zu messenden Luftstrom auf 90 je 20 cm lange, parallele, am Ende sich konisch erweiternde Röhren mit einem Lumen von 2 mm. Diese Röhren fügte er so zu einem Bündel zusammen, daß zwischen ihnen eine Luftpassage unmöglich war. Die Röhren endeten in einem Sammelrohr, an dem das Mundstück angesetzt wurde. An vier dieser Röhren wurden je ein Paar Ansatzstücke senkrecht angelötet, jedes Paar mit anderem Abstand. An diesen Ansatzstücken wurde die Druckdifferenz abgenommen, die umso größer war, je größer der Abstand der Ansatzstücke voneinander war. Bei Durchführung eines Versuchs wurde ein Ansatzpaar geöffnet. Die Luft wurde über Gummischläuche in ein Differentialmanometer geleitet, in dem sich als Scheidewand eine Gummimembran befand. Durch den auf dieser Gummimembran angebrachten Spiegel konnte ihre Bewegung mit einem Lichtstrahl registriert werden.

Das mit dieser Apparatur aufgenommene Tachogramm gab wertvolle Hinweise: Es gibt beim Menschen nur einige wenige Formen, in die alle normalen Individuen eingruppiert werden können. Das Tachogramm eines einzelnen ist jedoch

immer gleich. Es gibt überhaupt keine inspiratorischen und nur ganz selten exspiratorische Atempausen. Die maximale Strömungsgeschwindigkeit wird meistens bereits im ersten Drittel einer Atempause erreicht.

BRETSCHGER (10) stellte 1925 durch Untersuchungen mit dem FLEISCH'schen Gerät drei extreme Normaltypen des Tachogramms fest, ein keilförmiges, ein kuppelförmiges und ein plateauförmiges. In diese Typen ließen sich mehr oder weniger alle Versuchspersonen einordnen. Die Personen, die ein keilförmiges Tachogramm zeigten, hatten nach der Belastung vielfach eine kuppel- oder plateauförmige Kurve. Die bei weiblichen Versuchspersonen kleineren Atemvolumina wurden durch größere Frequenz und durch größere maximale Strömungsgeschwindigkeit ausgeglichen.

1928 beschrieb HOCHREIN (19) einen von ihm entwickelten Pneumotachographen. Ihm schien der FLEISCH'sche Apparat zur Durchführung langdauernder Versuchsserien nicht geeignet. Er gab dafür eine Reihe von Gründen an, die jedoch alle von FLEISCH (15) widerlegt wurden.

Bei dem HOCHREIN'schen Gerät wurde in einem Röhrensystem ein kleines Hindernis in Form eines Ringes angebracht. Vor und hinter dieser Einschnürung entstand je ein Wirbelgebiet und in diesen Wirbelgebieten durch ungleichmäßige Verteilung der Stromgeschwindigkeit ein Druckhöhenverlust, dessen Größe sich berechnen ließ.

Gleichzeitig mit dem Pneumotachogramm zeichnete HOCHREIN ein EKG, eine Kurve der Druckverhältnisse in der V.jugularis ext. und eine solche der Druckverhältnisse in der A.carotis. Er kam zu dem Schluß, daß die Abnahme eines Pneumotachogramms allein unerfreulich ist, da kein System zu erkennen ist. Jedoch kann die Pneumotachographie in Kombination mit anderen Methoden sehr aufschlußreich sein.

ZU JEDDELOH (23) untersuchte mit dem HOCHREIN'schen Tachographen 40 gesunde Männer und fand in der Hälfte aller Fälle eine Atempause am Ende der Exspiration.

1953 wurde von BEARLEY und Mitarbeitern (5) ein auf Untersuchungen in der Humanmedizin basierender spezieller Pneumotachograph für Rinder beschrieben. Mit ihm konnten die Atemfrequenz und das Atemminutenvolumen gemessen werden, außerdem zeigte er die Atemkurve auf einem Oszillographen auf.

Außer den Atemvolumina und Frequenzen, den Atembewegungen und Phasen waren auch die Atemgeräusche von Interesse. Eine Methode zur objektiven Aufzeichnung der Atemgeräusche beschrieb BASS (4) 1927. Er hielt diese Aufzeichnungen für besonders wichtig, da alle Bezeichnungen, mit denen die Beschaffenheit der Atemgeräusche ausgedrückt wird "mehr Gleichnisse als exakte Definitionen sind." Die Schwierigkeit solcher Aufzeichnungen lag einmal in der geringen Intensität der Atemgeräusche, zum anderen in ihren verschiedenen Teilschwingungen. BASS arbeitete mit einem Kondensatormikrophon. Die Schallschwingungen erschienen nach Frequenzmodulation, Gleichrichtung der Trägerfrequenz und Verstärkung am Ausgang als Wechselströme. Diese waren nach Amplitude und Frequenz ein genaues Abbild des Schalls. Die Geräusche waren subjektiv mit Kopfhörern und objektiv vermittels eines Oszillographen feststellbar. Die Grundfrequenz der Atemgeräusche beim Menschen liegt im Mittel bei 180 bis 250 Herz. Die hohen Frequenzen sind dem Bronchialatmen, die niedrigen dem Vesikuläratmen zuzuschreiben.

3. Spezielle Untersuchungen der Lungenmechanik beim Pferd.

Die Untersuchungen von Lungenmechanik und Atmungsfunktionen bei Tieren, insbesondere bei den bis vor nicht allzu langer Zeit wichtigsten landwirtschaftlichen Nutztieren, den Pferden, waren schon immer von großem Interesse.

Den ersten brauchbaren Weg, Pferde während ihrer Arbeit bezüglich ihres Lungengaswechsels zu untersuchen, fanden ZUNTZ und LEHMANN (43) 1889. Sie stellten sich zur Aufgabe, die Pferde "belastet oder unbelastet, frei gehend, wie bei Leistung jedes gewünschten Zuges" zu untersuchen. Mit dieser Untersuchung wollten sie Werte für "fast jede Form der Arbeit, die im wirtschaftlichen Leben von den Pferden verlangt wird,"erhalten. Um Versuche mit den genannten Bedingungen durchführen zu können, konstruierten sie ein Tretrad. Dieses war eine aus 17 Gliedern bestehende "Bahn ohne Ende". Die Glieder liefen auf Schienen. Kam ein Glied am Ende der Schienen an, schlug es dort um und wurde unterhalb der Bahn wieder zurückgeführt. Diese Tretbahn wurde fest auf einem Holzgerüst montiert, welches den zusätzlichen Vorteil bot, die Bahn in verschiedene Neigungswinkel einstellen zu können. Um die Geschwindigkeit regulieren oder die zu leistende Zugarbeit variieren zu können, wurde eine Stahlbandbremse angebracht und die Tretbahn mit einer Dampfmaschine verbunden. Da die Tretbahn sehr hoch lag, wurde noch eine Laufbrücke konstruiert, über die die Pferde auf das Versuchsgerät geführt wurden. Am Geländer der Tretbahn wurden zur Sicherung der Versuchstiere Bauch- und Rückengurte angebracht. Das Prinzip der von den Verfassern durchgeführten Respirationsversuche bestand im Auffangen und in der Feststellung der Zusammensetzung der Exspirationsluft. Das Auffangen der Ausatmungsluft war am leichtesten an tracheotomierten Tieren möglich. Um jedoch derartige Versuche auch an unverletzten Tieren durchführen zu können, wurde eine Maske verwendet. Diese aus einem über Maul und Nüstern rei-

chenden, mit einem aufgeblasenen Kautschukschlauch fest abgeschlossenen Messinghelm bestehende Maske besaß ein In- und Exspirationsventil. Durch das Exspirationsventil wurde die Ausatmungsluft über einen Kautschuksack, in dem Speichel und Kondenswasser aufgefangen wurden, zu den Analysenapparaten geführt. Eine Gasuhr zeigte die Gesamtmenge der exspirierten Luft an. Außerdem konnten nach der Bewegung des Zeigers die Atemzüge pro Minute gezählt werden. Durch eine besondere Apparatur wurde eine " den Schwankungen der Respirationen proportionale Probe der Atemluft" entnommen. Aus dieser Probe wurde die Zusammensetzung der Exspirationsluft bestimmt. In 35 Versuchen wurde die Beziehung zwischen Kraftleistung und respiratorischem Gaswechsel untersucht. Die Verfasser stellten fest, daß bei verschiedenartiger Arbeit niemals derselbe Mittelwert für die Einheit geleisteter mechanischer Arbeit zu erwarten ist.

Das Problem, die Lungenfunktion von Pferden während der Arbeit und Bewegung zu prüfen, beschäftigte immer wieder Physiologen und Züchter. So konstruierte 1927 KASANSKIJ (24) einen Apparat, um Atembewegungen von Pferden in schnelleren Gangarten zu registrieren. Er verwendete dazu eine Einrichtung, die es ermöglichte, durch Lichtsignale die Atemfrequenzen angeschirrter Pferde in allen Gangarten darzustellen.

Um die Ausgaben, die der deutschen Landwirtschaft durch die Haltung von Zugtieren entstanden, zu verringern, schlug HUXDORF (21) vor, innerhalb der gängigen Leistungsprüfungen Respirationsversuche an Zugtieren durchzuführen. Für eine noch bessere Auswahl der in der Landwirtschaft zu verwendenden Tiere ist deren Wirkungsgrad von besonderer Bedeutung. Er soll möglichst hoch sein. "Die Tiere müssen bei hoher Leistung einen möglichst geringen Futterverbrauch haben und trotz schwerer Arbeit

möglichst wenig ermüden." HUXDORF setzte sich zum Ziel, durch seine Versuche die Menge des während der Arbeit verbrauchten Sauerstoffs, den sog. Arbeitsumsatz zu ermitteln. Dazu konstruierte er ein Atemanemometer, das den Tieren wie ein Sattel auf den Rücken geschnallt wurde. Ein solches Anemometer mißt das Volumen der Luft, die ihm in gleichmäßigem Strom zugeführt wird. Die Umwandlung der ausgeatmeten Luftstöße zu einem gleichmäßigen Luftstrom geschah mit einem nach dem Prinzip eines Blasebalgs arbeitenden Ausgleichskessel. An diesem Ausgleichkessel wurde ein automatisches Zählwerk befestigt, das die Atemfrequenz registrierte. Da nach der Zielsetzung neben der Menge der Ausatmungsluft vor allem ihre Zusammensetzung interessierte, wurden mit einem ebenfalls am Apparat befestigten Gummibeutel Luftproben entnommen. Der Arbeitsumsatz errechnete sich aus der Differenz des Gesamt- und des Ruheumsatzes. Als Hilfsmittel für seine Versuche verwendete HUXDORF einen Zugkraftmesser, einen Schrittzähler und einen Bremswagen, mit dem er für Konstanz der Zugwiderstände sorgte.

HUXDORF (22) kam zu folgenden Ergebnissen: Für eine bestimmte Arbeit haben manche Pferde einen geringen, andere einen hohen Arbeitsumsatz. Er stellte eine Abhängigkeit der Größe des Arbeitsumsatzes von der Art der Aufschirrung und Anspannung sowie von der Arbeitsgeschwindigkeit fest. So hatte z.B. eins seiner Versuchspferde bei Aufschirrung mit Sielengeschirr einen um 4% höheren Arbeitsumsatz als bei Verwendung eines Kummets. Bei einem anderen Pferd wurde der Zughaken einmal 10 cm, ein anderes Mal 60 cm vom Erdboden entfernt angebracht. Im ersten Fall war der Arbeitsumsatz 6% höher. Für die Arbeitsgeschwindigkeit ermittelte HUXDORF einen Optimalwert von 5 km/Std.. Außerdem gab er an, daß seine Methode ebenso bei Reitpferden anwendbar ist. Besonders interessierte ihn der Vergleich bei demselben Pferd unter dem Reiter und mit feldmarsch-

mäßiger Ausrüstung. Der Arbeitsumsatz des mit Reiter und Gepäck belasteten Pferdes war um 18% höher. Das Ergebnis seiner Untersuchungen faßt HUXDORF so zusammen: "Bisher war es nur der Erfahrung des einzelnen Landwirts überlassen, wie er die Arbeitsbedingungen für seine Zugtiere wählen wollte, jetzt können alle diese Fragen auch objektiv untersucht werden."

Derselbe Gedanke veranlaßte GEHRING (18) 1939, Untersuchungen über Kreislauf und Atmung im Hinblick auf die Leistungsprüfung des Pferdes anzustellen. "Es besteht die Notwendigkeit, tierische Arbeitskraft bis zum erträglichen Maß zu verwerten, ohne sie vorzeitig durch zu starke Inanspruchnahme zu schädigen oder abzunützen." So wollte er ein Untersuchungsverfahren entwickeln, das unter praktischen Verhältnissen schnell Aufschluß gab über das Verhalten von Atmung und Kreislauf. Daher verzichtete er auf jegliche Apparatur. Er untersuchte lediglich die Atemfrequenz, die Pulsfrequenz und die Körpertemperatur. Diese Werte nahm er zuerst in der Ruhe auf. Dabei stellte er fest, daß diese Zahlen nicht geeignet waren, Schlüsse auf konditionelle Unterschiede zu ziehen. So hatte die Ruheuntersuchung lediglich den allerdings nicht unwichtigen Wert, den Gesundheitszustand der Pferde zu überwachen. Die nächste Überprüfung der Puls- und Atemfrequenzen wurde während der Arbeit vorgenommen. Einmal wurden Gespanne bei der Feldarbeit, zum anderen einzelne Pferde bei einem Geländeritt überprüft. Da GEHRING auf Instrumente verzichtete, blieb ihm nur die Möglichkeit, die jeweiligen Werte direkt vor und unmittelbar nach der Arbeit zu ermitteln. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind im Folgenden kurz zusammengestellt: Für die Beurteilung der Verfassung sind niedrige Atemfrequenzen günstiger zu bewerten als hohe. Von besonderer Bedeutung für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit ist die Beruhigungszeit der Atmung. Hier sind die individuellen Unterschiede er-

heblich stärker als im Beruhigungsverlauf der Pulsfrequenz. Die Beruhigungszeit ist abhängig vom Trainingszustand, den Anforderungen der vorangegangenen Arbeit und der individuellen Veranlagung. Es kann vermutet werden, daß Beziehungen zwischen Verlauf und Dauer der Beruhigungszeit einerseits und der Leistungsfähigkeit andererseits bestehen.

In diesem Zusammenhang findet eine 1956 veröffentlichte Arbeit von BELFORT (6) Beachtung. Sie befaßte sich mit ähnlichen Problemen bei Rennpferden. BELFORT kam zu folgendem Ergebnis: "Während des Trainings steigt die Atemfrequenz des Pferdes nicht an; aber wenn wir es nach einer heftigen Arbeit zum Stehen bringen, nimmt sie beträchtlich zu. Dies kommt daher, daß das Pferd während der Bewegung des Thorax als Antriebsorgan benutzt und dieser bei jedem Schritt fixiert wird, während der erhöhte Luftbedarf durch eine Erweiterung des Brustkorbes kompensiert wird."

Diese Feststellung steht im Gegensatz zu allen von anderen Autoren beschriebenen Tatsachen. Eine Erklärung für eine derartige Art der Schlußfolgerung ist wahrscheinlich darin zu suchen, daß bei den Versuchen, während derer die Pferde verschiedene festgelegte Distanzen galoppieren mußten, die Tiere nur am Ziel, nicht aber auf der Galoppstrecke beobachtet wurden.

In der jüngeren Zeit wurde es durch die Fortschritte der Technik möglich, genauere Untersuchungen der einzelnen Vorgänge der äußeren Atmung durchzuführen. 1957 interessierten sich WITTKE und HABERICH (36,37,39,40) für die zeitliche Bestimmung der Atemphasen beim Pferd. Sie entwickelten eine nach dem Prinzip der Hitzdrahttachographie arbeitende Methode, die insbesondere auch Untersuchungen währen der Bewegung an der Longe zuließ. Dem Pferd wurde eine mit einer doppelwandigen aufblasbaren Manschette am

Kopf abgedichtete Maske aufgezogen. Vor jeder Nüster befanden sich 6 Einatmungsventile. Der Ausatmungsstrom wurde über Schläuche zum Rücken geleitet und dort in einem mit 12 Ventilen versehenen Plexiglaskasten aufgefangen. Am Ausgang dieses Kastens befand sich der Hitzdraht des Tachographen, dessen durch die Ausatmungsluft verursachte Abkühlung mit Hilfe eines Galvanometers registriert wurde. Die vom Pferd abgehenden Drahtverbindungen liefen entlang der Longe zu einem in der Mitte des Platzes stehenden Drehkontakt. Von dort wurden sie zur Registriereinrichtung geleitet. Die Ergebnisse dieser Versuche betrafen einmal die Atemphasendauer, zum anderen das Verhältnis der Atemphasen zueinander. Außerdem wurde die für das Pferd charakteristische Doppelschlägigkeit der Atmung festgestellt. Die Atemzyklusdauer schwankte in der Ruhe in weiten Grenzen, die aber nicht typisch für das einzelne Individuum waren. Im Schritt verkürzte sich die Zyklusdauer, die Variation verringerte sich und man fand ein deutliches Maximum der Häufigkeitsverteilung. Dasselbe Bild ergab sich, allerdings in stärker ausgeprägter Form, im Trab. Bei der Beurteilung des Verhältnisses der einzelnen Atemphasen zueinander fanden sich auffallende Sprünge zwischen Ruhe, Schritt und Trab. In jeder der drei Bedingungen verliefen die Beziehungen linear. Zahlenmäßig sah das Verhältnis zwischen der Dauer der Exspiration und der Dauer der Inspiration so aus: In der Ruhe betrug der Wert 1,6, d.h. die Exspiration dauerte etwa eineinhalb mal so lange wie die Inspiration. Im Schritt wurde dieser Wert 1,3 und im Trab ca. 1. Das bedeutete, daß die Phasen jetzt etwa gleich lang waren. Diese Tatsache erklärte sich dadurch, daß die Exspiration, die in der Ruhe ein fast rein passiver Vorgang ist, während der Bewegung zu einem aktiven Vorgang wird. Im einzelnen seien hier noch die Ergebnisse von drei Versuchen wiedergegeben. Ein Wagenpferd wurde 3 Min. 49 Sek. im Schritt bewegt. Die Atemfrequenz erhöhte sich gegenüber der Ruhe sofort, um sich dann auf

einem etwas niedriger liegenden Mittelwert einzuspielen. Im Trab, der 3 Min. 49 Sek. dauerte, passierte dasselbe. In der nachfolgenden Ruhe sanken die Frequenzen bereits innerhalb der ersten Minute in die Nähe des Ausgangswertes ab. Bei einem schlecht genährten, aber gut gehenden Pferd verhielten sich die Frequenzwerte insofern anders, als im Schritt während der ersten Minute eine zweite plötzliche Erhöhung der Atmungszahl erfolgte. In der auf den Trab folgenden Schrittreprise lagen die Frequenzwerte wesentlich höher als im ersten Schritt. Die Wiederholung des ersten Versuches ergab, "daß, obwohl die absoluten Frequenzzahlen voneinander etwas abweichen, das Verhältnis der Steigerung doch das Gleiche bleibt."

SUCHODOLSKAJA (34,35) erschien die Spirometrie beim Großtier nicht anwendbar und die Pneumographie für die Bestimmung der äußeren Atmung zu ungenau. Daher brachte er die bereits früher angewendete Methode der Rhinographie bei Pferd und Rind wieder in Erinnerung. Bei dieser Form der Untersuchung wurde die ein- und ausgeatmete Luft aus den Nüstern mit einem Glastrichter aufgefangen, dessen Öffnung direkt an die Nüster angelegt wurde. Das schmale Ende des Trichters wurde mittels eines Gummiröhrchens mit einer Respirationskapsel verbunden. Die in dieser Kapsel gezeichnete rhinographische Kurve spiegelte den genauen Verlauf der mechanischen Vorgänge der Atmung. "Sie ermöglicht es, im einzelnen die Veränderung der Phase der Einatmung und Ausatmung zu verfolgen". Eine Mittelwertbestimmung der Werte von 100 untersuchten Pferden ergab für die Dauer der Exspiration 3,2 Sekunden, für die Dauer der Inspiration 2,3 Sekunden. Das Verhältnis betrug also hier 1,4. Die Doppelschlägigkeit der Atmung war ebenfalls auf den Rhinogrammen ersichtbar.

In Amerika immer populärer werdende Berggeländeritte stellen neue Forderungen an den tierärztlichen Beruf.

Diese Konsequenz zogen GARDINET, FOWLER und TYLER (11) in einer 1963 veröffentlichten Arbeit. Erstens kam es darauf an, zu entscheiden, welche Pferde solchen Wettkämpfen überhaupt gewachsen sind. Zweitens war es wichtig, mit Sicherheit objektiv die Kondition und physikalische Fähigkeit zusätzlich zu den allgemein bekannten subjektiven Kriterien zu bestimmen. Es sollte festgestellt werden, ob sich Herz- und Atemfrequenzwerte eignen, den Unterschied zwischen Pferden mit guter und solchen mit schlechter Leistung herauszustellen. 35 Pferde wurden während eines 47,8 Meilen langen, zwei Tage in Anspruch nehmenden Geländerittes, auf dem insgesamt ein Höhenunterschied von 28 230 Fuß zu überwinden war, untersucht. Die Pferde wurden in zwei Gruppen geteilt. In die Gruppe A wurden die 23 Pferde eingeordnet, die das Ziel erreichten, in der Gruppe B fanden sich die 12 Pferde, die den Ritt nicht beenden konnten. Die Messungen wurden durch Adspektion und Auskultation vorgenommen. Bei der Auswertung der Ergebnisse stellte sich das Verhältnis zwischen Herz- und Atemfrequenz als wichtig heraus. Es ergab sich, daß die Pferde der Gruppe B höhere Atemfrequenzen im Verhältnis zu den Pulsfrequenzen hatten als die Pferde der Gruppe A. So kamen die Verfasser zu dem Schluß, "daß es bezeichnende Unterschiede gibt bezüglich der Herz-und Atemfrequenzwerte bei Pferden mit guter und solchen mit schlechter Arbeitsleistung".

Neue technische Fortschritte gaben immer bessere Möglichkeiten, die Lungenmechanik bei Großtieren umfassend zu untersuchen. SPÖRRI und LEEMANN (33) schlugen dazu eine Kombination mehrerer Untersuchungsmethoden vor. Sie nahmen mit dem Pneumotachographen nach FLEISCH (14) ein Tachogramm auf. Um den 8 cm langen und 4 cm im Durchmesser messenden Apparat so aufsetzen zu können, daß er von der gesamten Exspirationsluft durchströmt wurde, konstruierten sie eine Oberkiefermaske. Durch das Tachogramm erhiel-

ten sie die Atemstromstärke und den Atemzeitquotienten, d.i. das Verhältnis zwischen Exspirations- und Inspirationsdauer. Sie integrierten das Tachogramm mit einer elektronischen Rechenmaschine, die die ermittelten Werte in Form elektrischer Impulse an ein Registriergerät weitergab. So erhielten sie gleichzeitig das Spirogramm. Durch direkte Punktion des Interpleuralspaltes wurde der Interpleuraldruck registriert. Dabei wurde, um zu verhindern, daß sich die Lunge direkt auf die Kanülenöffnung legte, laufend sterile, antibiotikahaltige physiologische Kochsalzlösung infundiert. Weiterhin wurden die Elastance und Compliance bestimmt. Elastance ist das Verhältnis der Änderung der Retraktionskraft der Lunge gemessen durch Feststellung des Interpleuraldrucks zur Änderung der Luftfüllung der Lunge. Compliance bedeutet den reziproken Wert. Trägt man bei Erstellung einer Kurve die Änderung des Lungenvolumens auf der Abszisse und die Änderung des Interpleuraldrucks auf der Ordinate ab, erhält man ein schleifenförmiges Diagramm, die sog. Atemschleife. Die Fläche der Schleife entspricht dem Produkt aus Volumen und Druck. Daher ließ sich durch die planimetrische Bestimmung des Flächeninhaltes ein Maß für die Arbeit ermitteln, die bei der Lungenventilation während eines Atemzuges nötig ist. Insgesamt wurden also folgende physiologische Werte bestimmt: die Atemfrequenz, die Atemstromstärke, das Atemvolumen, der Atemzeitquotient, die Elastance und Compliance, der viskose Widerstand und die Größe der Arbeit für die pulmonale Ventilation.

"Durch die objektive und quantitative Erfassung dieser Parameter sollte es möglich sein, die Atemtätigkeit bei den verschiedenen Affektionen des Respirationsapparates besser zu beurteilen, als dies mit den üblichen klinischen Methoden der Adspektion, Auskultation und Perkussion der Fall ist. Sind einmal die Verhältnisse bei den diversen Erkrankungen des Atmungsapparates bekannt, dann

ergeben die beschriebenen atmungsmechanischen Untersuchungen wertvolle diagnostische Hinweise."

4. Telemetrische Bestimmungen physiologischer Werte.

Alle bisher beschriebenen Methoden, physiologische Werte der Lungen- und Herztätigkeit objektiv festzustellen, beruhten darauf, daß Versuchsperson oder Versuchstier mit den Registrierapparaten in direkter Verbindung standen. Die drahtlose Übertragung macht es möglich, über größere und verschiedene Entfernung hinweg, physiologische Werte zu ermitteln. Im Folgenden soll über einige Arbeiten berichtet werden, die sich mit der drahtlosen Übertragung biologischer Meßgrößen befassen, und bei denen ähnliche Problemstellungen zugrunde lagen wie bei der vorliegenden Arbeit.

MORROW und VOSTEEN (29) beschrieben 1953 einen speziell für den Gebrauch bei Hunden konstruierten Pneumotachographen. Es handelte sich um ein tragbares Gerät, das einen nur geringen Atemwiderstand verursachte und hohe Empfindlichkeit besaß. Der Anschluß an das Versuchstier erfolgte über eine fest abgeschlossene Gesichtsmaske, die für jedes Tier speziell nach der Kopfform angefertigt wurde. Das hervorstechende Merkmal dieses Tachographen war seine Kombination mit einer Sendeanlage. Sie erlaubte es, Respirationsmessungen durchzuführen, ohne daß eine direkte Verbindung zwischen Versuchsobjekt und Registriergerät vorhanden war. Die Anlage besteht aus einem Meßgerät für die Luftdruckdifferenz, einem Oszillator, einem Empfänger und einem Oszillographen. Die Versuche wurden unter vier verschiedenen Bedingungen durchgeführt, in Ruhe, bei leichter, mittlerer und schneller Bewegung. Dabei stellte sich heraus, daß die meisten Hunde nicht bereit waren, die beiden letztgenannten Bedingungen mit aufgesetzter Gesichtsmaske zu erfüllen. Hier waren nur Messungen direkt vor oder unmittelbar nach der Bewegung möglich. Die ermittelten Kurven waren plateauförmig. Die maximale Luftgeschwindigkeit blieb verhältnismäßig kon-

stant. Die Kurven ließen keinerlei Atempausen oder Herzeffekte erkennen.

Bei Studien, die der Erforschung des Orientierungssinnes von wilden Enten dienten, bemerkten LORD und Mitarbeiter (28) 1962, daß der von ihnen verwendete Miniatursender die Atmung der Vögel übertrug. Sie stellten sich zur Aufgabe, festzustellen, ob eine Synchronisierung zwischen dem Rhytmus des Flügelschlages und der Atemfrequenz besteht. Der Sender hatte ein Gesamtgewicht von 38 g, davon entfielen 25 g auf die Batterie. Der Sender wurde mit Isolierband, das einmal um die Batterie und mehrere Male direkt hinter den Flügeln um den Körper gelegt wurde, so auf dem Körper befestigt, daß er in der Mitte des Körpers "ritt". Die Antenne wurde unmittelbar vor den Beinen um den Körper geschlungen. Der zu der Anlage gehörende Empfänger war sehr empfindlich und reagierte auf die kleinsten Frequenzschwankungen. Im Verlaufe des Versuches flog die Ente mehrere Male aus dem Empfangsbereich hinaus. Als sie einmal direkt über die Empfangsstation flog, konnten Flugcharakter und Flughöhe genau beobachtet werden. Gleichzeitig war die Atmung mit einem in den Empfänger eingebauten Lautsprecher zu hören. Bei der direkten Beobachtung schien es, daß pro Atemzug einige Flügelschläge erfolgten. Eine Synchronisierung war auf diese Weise jedoch nicht feststellbar. Nach den gleichzeitig geschriebenen Kurven ergab sich für die Ruhe eine Atemfrequenz von 14/Min., während des Fluges betrug die Frequenz 96/Min.. Auf der Kurve fand sich eine Unterbrechung in jedem aufsteigenden Ast und ebenso konstant ein kleiner Frequenzwechsel zwischen den Atemphasen. Nahm man an, daß durch diese Aberrationen Flügelschläge dargestellt wurden, kam man zu einem Verhältnis von 1 : 2, d.h. bei 96 Atemzügen erfolgten 192 Flügelschläge. Als die Ente einmal für eine Sekunde nicht atmete, erschienen auf der Kurve vier kleine Zacken. Sie schienen mit den zwischen den Atempha-

sen beobachteten identisch zu sein. Das hätte eine Flügelschlagfrequenz von 240/Min. bedeutet und wäre in etwa einem Verhältnis zwischen Atmungs- und Flügelschlagrhythmus von 1 : 3 gleichgekommen.

1958 beschrieben FRUCHT und OTTO (17) einen Kleinstsender, der zur drahtlosen Übertragung biologischer Meßgrössen vom frei beweglichen Menschen und Tier geeignet war. Um eine beeinflussungsfreie Messung bei Mensch und Tier vornehmen zu können, war ein möglichst geringes Sendergewicht Voraussetzung. Bei diesem Sender handelte es sich um ein Transistorengerät mit einem Gewicht von 610 g. Der Sender konnte mit sehr kleinen Batterien für viele Stunden in Betrieb gehalten werden. Er hatte eine Reichweite von 120 m. Versuche, die mit der Aufzeichnung von Elektrokardiogrammen gemacht wurden, ergaben, daß bei Verwendung zweier in der Brustbeingegend befestigter Spezialelektroden die zeitlichen Verhältnisse genau wiedergegeben wurden. Während der Belastung auftretende Verzerrungen wurden nicht durch das Gerät, sondern durch Gleichspannungsänderungen der Haut hervorgerufen. Solche Gleichspannungsänderungen treten immer bei Anstrengungen und psychischen Einwirkungen auf. Die Ergebnisse dieser Versuche ließen eine vielfältige Anwendung in der Arbeits-, Sport- und Tierphysiologie sowie in der Klinik erwarten.

In der Veterinärmedizin fand der von FRUCHT und OTTO entwickelte Sender 1964 erste Verwendung bei der Übertragung von EKG- Ableitungen bei frei beweglichen Rindern und Pferden. Hierüber berichteten BÖRNERT, SEIDEL und Mitarbeiter (8,9). Als wichtigste Vorteile einer solchen Telemetrie sahen die Verfasser die Möglichkeit der Registrierung von Belastungswerten biologischer Meßgrößen und die Möglichkeit der automatischen Überwachung dieser Werte über längere Zeitabschnitte an. Sie stellten folgende Anforderungen an die Apparatur: Telemetrische Übertragung

des EKG über eine Entfernung von 100 m für die Dauer mehrerer Stunden, Übereinstimmung zwischen drahtlos aufgezeichnetem und direkt registriertem EKG, Meßbarkeit der wichtigsten elektrokardiographischen Größen bei der Bewegung, Befestigung von Sender und Elektroden ohne chirurgische Eingriffe. Es wurden Klebeelektroden verwendet. Nach Rasieren und Entfetten der Haut wurde die eine rechts präskapular am Hals, die andere links am Brustkorb kaudal vom Ellenbogengelenk angebracht. Die vom Körper ableitbaren Herzaktionspotentiale gelangten über einen Elektrolyten und eine in einem Kabel endende Silberelektrode zum Sender. Der Sender wurde in einer passenden Tasche gehalten, die an einen Bauchgurt genäht war. Als Empfänger diente ein Röhrengerät, von dem Überleitung auf einen Oszillographen oder ein Tonband möglich war. Beim Rind "entsprachen die elektrokardiographischen Größen des telemetrischen EKG denen des direkt registrierten", allerdings wurden die Werte nur in der Ruhe und im Schritt aufgenommen. Beim Pferd waren in der Ruhe alle elektrokardiographischen Größen voll erfaßbar, im Schritt einige und im Trab vereinzelte. Lediglich die Herzfrequenz war unter allen Bedingungen, also auch im Galopp, registrierbar. Doch "gibt die alleinige telemetrische Registrierung der Herzfrequenz bei Bewegung keinen genügenden Einblick in die Regelvorgänge des Kreislaufs und beschränkt damit die Beurteilung der Leistungsfähigkeit des Versuchstieres".

C. Eigene Versuche

1. Apparatur und Methodik.

An die Versuchsanordnung wurde die Anforderung gestellt, die Schallbilder der Atemzüge der Pferde möglichst störungsfrei während aller bei Reitpferden üblichen Belastungen über größere Entfernungen hinweg zu übertragen. Im Folgenden wurden diese Schallbilder der Atmung kurz als Atemgeräusche bezeichnet.

Als Sende- und Empfangsanlage wurden handelsübliche Geräte des Typs Mikroport der Firmen Telefunken und Sennhäuser Electronic verwendet.

Der Miniatursender SK 1006 wiegt 200 g. Seine Abmessungen betragen 24 x 75 x 115 mm. Es handelt sich um ein Transistorgerät, zu dessen Stromversorgung lediglich zwei handelsübliche 9 V Batterien erforderlich sind. Bei Dauerbetrieb beträgt ihre Lebensdauer etwa 6 bis 7 Stunden. Die Sendefrequenz kann auf 36,7 MHz oder 37,1 MHz eingestellt werden. Der Übertragungsbereich des Senders liegt zwischen 80 und 13 000 Hertz.

Als Mikrophon diente das dynamische, störgeräuschkompensierende Richtmikrophon D_{58} der Firma AKG. Es hat ein Gewicht von 53 g, ist 40 mm lang und mißt im Durchmesser 20 mm. Von der Firma werden neben der Störungskompensierung Unempfindlichkeit gegen Staub, hohe Luftfeuchtigkeit und größere Temperaturschwankungen als Eigenschaften des Mikrophons angegeben. Der Übertragungsbereich des Mikrophons D_{58} liegt bei Nahbesprechung zwischen 70 und 12 000 Hertz.

Der Mikroport - Empfänger T 201 ist ein Röhrengerät, das mit Netzstrom betrieben wird. Er wiegt 5,5 kg. Seine Abmessungen betragen 130 x 200 x 260 mm. Sein Tonfrequenzbereich liegt zwischen 100 und 15 000 Hertz. Der Empfänger ist wie der Sender auf die Frequenzen 37,1 und 36,7 MHz

einzustellen. Er ist mit einem Kontroll-Lautsprecher ausgerüstet, über den das Sendesignal abgehört werden kann. Als Empfangsantenne wird eine in der dafür vorgesehenen Haltebuchse befestigte Teleskopantenne verwendet. An den Empfänger kann ein Tonbandgerät mit Fernbedienungsanschluß angeschlossen werden. Sein Bandlauf wird vom Sender ferngesteuert. Über die Ausgangsbuchse ist ein Tonbandgerät oder ein Oszillograph anschließbar.

Zur Registrierung der Sendesignale wurde ein Tonbandgerät Telefunken 98 benutzt, das gleichzeitige Aufnahmen auf zwei Spuren gestattete. Die so festgehaltenen Ergebnisse können jederzeit mit einem EKG-Gerät geschrieben werden. Bei den beschriebenen Versuchen fand ein Gerät der Firma Hellige Anwendung.

Um eine möglichst störungsfreie Übertragung der Atemgeräusche zu erreichen, war die Frage der Anbringung von Mikrophon, Sendeantenne und Sender am Versuchstier von besonderer Bedeutung. Die Pferde wurden mit einer normalen Trense mit hannoverschem Reithalfter aufgezäumt. Um die beim Kauen auf dem Gebiß entstehenden Störgeräusche möglichst gering zu halten, wurde ein Gummistück eingeschnallt. Für die Durchführung der beschriebenen Versuche wurde eine Kopfkappe aus Leinen konstruiert, an der Sender und Mikrophon fest installiert sind. Sie umschließt Kopf und Hals des Pferdes vom Beginn der Christa facialis bis zum vierten Halswirbel. Für Augen und Ohren sind kreisförmige Öffnungen ausgespart. Die Kappe wird durch eine dreifache elastische Verschnallung in der Gegend des Kehlganges verschlossen. Damit ist für alle Kopfgrößen ein fester Verschluß gewährleistet. Auf der Vorderseite der Kappe ist eine Kunststoffschiene angebracht. Diese dient zum Fixieren des Mikrophons, welches an einem verstellbaren Bügel befestigt ist. Der Bügel ist in vertikaler und horizontaler Richtung verschiebbar und kann auf diese Weise bei jedem Pferd in die für das Mikrophon erforderliche Lage

eingestellt werden. Zur Aufnahme des Senders diente eine an der rechten Seite angebrachte Ledertasche. Das Kabel zwischen Mikrophon und Sender verläuft zunächst an dem Haltebügel, dann senkrecht an der schaumstoffgepolsterten Kopfkappe bis zwischen die Ohren hoch und seitlich am Kopf herunter bis zum Schraubkontakt des Mikroport. Es dient gleichzeitig als Sendeantenne. (s.Abb.1)

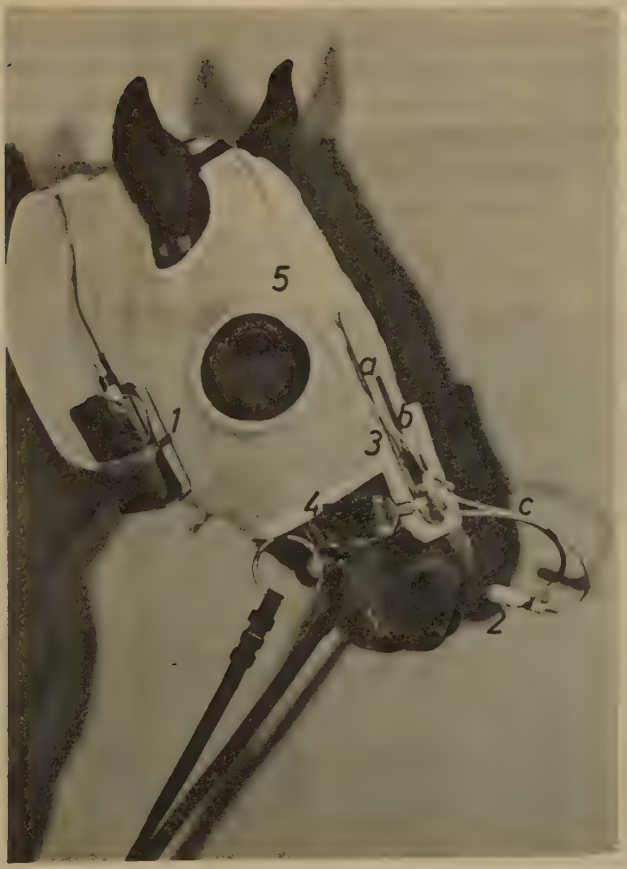


Abb.1: Pferd mit Kopfkappe und Sendeanlage

1. Sender Mikroport
2. Mikrophon
3. Halterung für das Mikrophon
   a. Schaumstoff gepolsterte Grundplatte
   b. Verstellbare Halteschiene, mit Klemmschrauben zu fixieren.
   c. Schwenkbarer Mikrophonarm.
4. Gummizug zum Festspannen der Mikrophonhalterung am Kopf
5. Sendeantenne.

2. Durchführung der Versuche.

Die Versuche wurden in der Reithalle der Universitätsreitschule Düppel durchgeführt. Die Empfangsanlage wurde in dem in der Halle gelegenen, mit Fenstern zur Reitbahn versehenen Hörsaal aufgebaut. So war es möglich, gleichzeitig die Pferde zu beobachten und die Atemgeräusche zu hören.

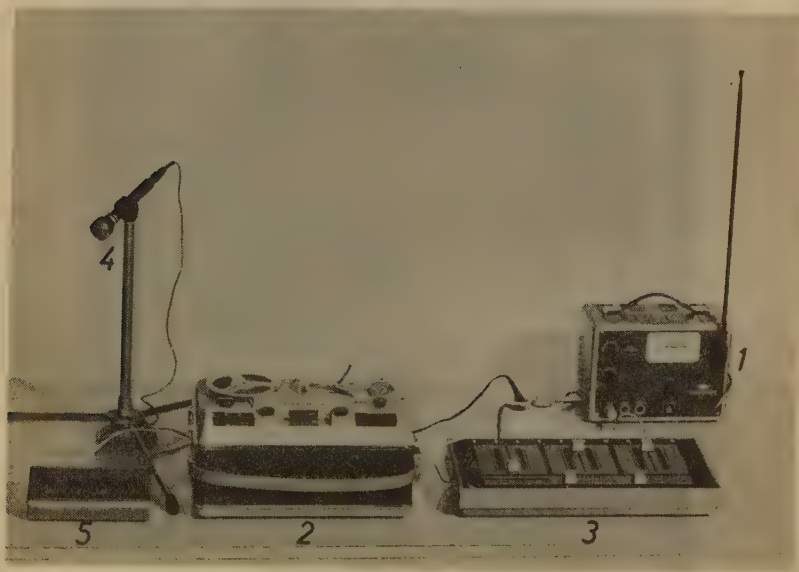


Abb.2 Empfangs- und Registrieranlage

1. Empfänger Mikroport
2. Tonbandgerät
3. Mischpult, zwischen Empfänger und Tonbandgerät geschaltet
4. Zweites Mikrophon
5. Mischpult, zwischen zweites Mikrophon und Tonbandgerät geschaltet

Es wurden insgesamt 22 Reitpferde untersucht. 19 Pferde befanden sich in gutem Trainingszustand. 2 Pferde waren schlecht trainiert, der Trainingszustand eines dritten Pferdes war nicht bekannt. 5 Pferde waren reine Turnierpferde in Privatbesitz. 15 Pferde waren Verleih- und Vereinspferde, (Reitverein der Berliner Studenten) die z.T. aber auch im Turniersport Verwendung finden. Die beiden untrainierten Pferde waren in der Klinik für Pferdekrankheiten untergestellte Pferde in Privatbesitz.

16 Pferde wurden unter drei Bedingungen untersucht. Sie wurden einmal geritten, einmal mit Longiergurt und Ausbindezügeln und einmal ohne Gurt und Ausbinder, d.h. frei, longiert. Die übrigen Pferde standen nur kurze Zeit zur Verfügung und konnten entweder nur an der Longe oder nur unter dem Reiter untersucht werden.

Zu den Untersuchungen an der Longe wurden nur solche Pferde verwendet, die die Longenarbeit kannten und sich ohne Schwierigkeiten longieren ließen. Ebenfalls wurden nur solche Pferde unter dem Reiter untersucht, die sich einwandfrei und ohne Mühe an die Hilfen stellen ließen. Soweit es möglich war wurden die Pferde von demselben Pfleger longiert. Dadurch sollten Verfälschungen der Ergebnisse, die durch unterschiedliche Arten des Longierens denkbar werden, vermieden werden. Die in den Versuchen untersuchten Privatpferde wurden von ihren Besitzern geritten. Die meisten Vereins- und Verleihpferde wurden von dem gleichen Reiter geritten, um auch hier möglichst gleichartige Bedingungen zu schaffen.

Die Kopfkappe wurde den Pferden von zwei Personen aufgesetzt, die rechts und links seitlich vom Kopf standen. Das Mikrophon wurde so eingerichtet, daß es in 30 bis 50 mm Entfernung vor der linken Nüster mitten im Ausgangsstrom saß. Die Pferde ließen sich durchweg die Kopfkappe ohne Schwierigkeiten aufsetzen. Daß direkt vor der Nüster

sitzende Mikrophon verursachte keine Störungen.

Die Pferde wurden einige Minuten an das Tragen der Kopfkappe gewöhnt. Bei allen Versuchen wurden sie zuerst 2 Minuten im Halten beobachtet. Es folgte eine Schrittreprise von 3 Minuten. Danach gingen die Pferde 5 Minuten Trab und 5 Minuten Galopp. Es wurde genau auf die Einhaltung mittlerer Tempi, also Mittelschritt, Arbeitstrab und Arbeitsgalopp geachtet. Alle Pferde wurden auf einem Zirkel mit ca. 10 m Durchmesser auf der linken Hand bewegt. Aus dem Galopp wurden die Pferde direkt zum Halten gebracht. In dieser zweiten Halteperiode wurden die meisten Pferde noch 5 Minuten beobachtet.

Im Folgenden werden die Pferde im Einzelnen aufgeführt. Zuerst stehen die Pferde, die dreimal untersucht wurden, danach die übrigen Pferde. Sie sind in der Reihenfolge geordnet, in der sie untersucht wurden. Bei jedem Pferd werden sein Alter und Geschlecht, seine Rassenzugehörigkeit, seine temperamentsmäßige Veranlagung, die Art seiner üblichen Verwendung und seine evt. Turniererfolge angegeben. Besondere Vorkommnisse während des Versuchsverlaufes wurden den Versuchsprotokollen entnommen und vermerkt. Am Schluß stehen die Daten der Tage, an denen die Versuche durchgeführt wurden. Die Angaben über das Temperament der Pferde wurden nicht durch den Versuchsverlauf bestimmt, sondern nach eigenen Beobachtungen gemacht. Diese Beobachtungen erstrecken sich größtenteils über Jahre. Pferde, bei denen die Temperamentsbeurteilung fehlt, waren noch nicht lange am Ort.

1. Pferde, die unter drei Bedingungen untersucht wurden.

A l l e g r o , 13 J., Wallach, Hann., ruhig, Vereinspferd, Springen bis Klasse L, Vielseitigkeitsprüfungen, 5.12., 7.12.1964

F r e i h e i t , 8 J., Wallach, sehr ruhig, Vereinspferd, Springen bis Klasse M, Pferd fällt unter dem Reiter und an der Longe während der Galopppreprise einige Male in den Trab, 5.12., 7.12.1964

F a l k n e r i n , 9 J., Stute, Hann., leicht nervös, Vereinspferd, Dressur und Springen Klasse A, Pferd stürmt während der Galopppreprise an der Longe einige Male davon, 5.12., 7.12.1964

C l e r m o n t , 11 J., Wallach, Ostpr., nervös, Vielseitigkeits- und Jagdpferd, Springen bis Klasse L, Stubbendorfprüfungen, Pferd geht im Schritt passartig, 5.12., 7.12., 9.12.1964

C i l l y , 12 J., Stute, Holst., sehr ruhig, Verleihpferd, 9.12., 11.12.1964

F l i c k a , 4 J., Stute, Hann., untrainiertes Reitpferd, 9.12., 14.12.1964

F a i r L a d y , 8 J., Stute, Hann., ruhig, Vereinspferd, Pferd fällt an der Longe während des Galopps zweimal in den Trab, 11.12., 13.12.1964

F a m a , 15 J., Stute, Hann., sehr sensibel, Vereinspferd, Dressur bis Klasse M, 11.12., 13.12., 14.12.1964

D o n , 5 J., Wallach, Westf., empfindlich, Vereinspferd, Material- und Eignungsprüfungen, Pferd galoppiert an der Longe während der Trabreprise einige Male an, 13.12., 14.12.1964

C a l l a s , Alter und Abstammung unbekannt, Stute, ruhig, zuverlässig, Vereinspferd, 13.12., 14.12.1964

H a s s o , 18 J., Wallach, Holst., ruhig, Verleihpferd, Springen bis Klasse M,
13.12., 14.12.1964

E r l y n , 10 J., Wallach, Hann., ruhig, Verleihpferd, Springen Klasse L,
13.12., 14.12.1964

F ü r s t i n , 15 J., Stute, Hann., ruhig, Verleihpferd,
13.12., 14.12.1964

A n a c o n d a , 13 J., Stute, Hann., ruhig, Verleihpferd, Vielseitigkeitsprüfungen Klasse A, fällt während des Galopps an der Longe einige Male in den Trab,
13.12., 14.12.1964

A n e t t e , 12 J., Stute, Hann., sehr nervös, Verleihpferd, Springen bis Klasse L,
13.12., 14.12.1964

G i b s y , Alter unbekannt, Wallach, Holst., sehr ruhig, Verleihpferd, Dressur bis Klasse L,
13.12., 14.12., 15.12.1964

2. Pferde, die nur geritten wurden.

V e n e z u e l a , 5 J., Stute, Hann., in Ausbildung als Dress.Pferd und Springpferd, Material-und Eignungsprüfungen, 25.11.1964

B a f a n t , 10 J., Wallach, Holst., ruhig, Verleihpferd, Dress.Klasse A,
11.12.1964

3. Pferde, die nur longiert wurden.

N o r m a n d i e , 8 J., Stute, franz.Vollbl., nervös, Springpferd, Springen bis Klasse S,
16.11.1964

P o p p ä a , 7 J., Stute, Hann., Dress. Pferd, Dress. bis Klasse M,
30.11.1964

B e l l e v o i r i n a , 15 J., Stute, Hann., Dress. Pferd, Dress. bis Klasse S,
30.11.1964

H o s a n n a , 7 J., Holst., bisher Weidegang,
12.12.1964

4. Pferde, die gesprungen wurden.

N o r m a n d i e : einzelne Hindernisse bis 1,20 m hoch

A l l e g r o : Parcours der Klasse A, nicht über 1,10 m hoch und 1,20 m breit

Bei etwa der Hälfte aller Versuche, wurden die Atemgeräusche auf Tonband aufgenommen. Da es sich um ein Zweispurgerät handelte, wurden auf der einen Spur des Tonbandes die Atemgeräusche registriert, auf die andere Spur wurde das Versuchsprotokoll gesprochen. Die auf diese Weise festgestellten Atemfrequenzen wurden zu einem späteren Zeitpunkt ausgezählt. Dabei wurde nochmals ein genauer Zeitvergleich vorgenommen. Auch die Versuchsprotokolle wurden später geschrieben. Bei zwei Pferden wurden zur Demonstration in dieser Arbeit Ausschnitte aus den verschiedenen Gangarten, sowie aus beiden Haltperioden mit dem EKG-Gerät der Klinik für Pferdekrankheiten geschrieben.

Bei den übrigen Versuchen wurden die Atemfrequenzen direkt durch Abhören des Kontroll-Lautsprechers ausgezählt. Die Versuchsprotokolle wurden dabei gleichzeitig geschrieben und die Zeiten in allen Fällen mit einer Stoppuhr genau gemessen. Im ersten Halten und im Schritt wurden die Atemfrequenzen über die ganze Zeit gezählt.

Im Trab, Galopp und im Halten nach der Bewegung wurden jeweils nur die Atemfrequenzen in der ersten, dritten, und fünften Minute ermittelt.

Bei den Versuchen, in deren Verlauf die Pferde über Hindernisse sprangen, wurden keine Auszählungen vorgenommen. Hier wurde das Atmungsverhalten der Pferde vor, über und nach dem Sprung beobachtet.

D. Ergebnisse

1. Feststellungen.

Die Atmungsgeräusche waren bei allen Versuchen deutlich zu hören. Dazu mußte während des ersten Haltens und im Schritt der Lautstärkeregler des Kontroll-Lautsprechers weiter aufgedreht werden, als später im Trab, im Galopp und im zweiten Halten. Die Exspirationsgeräusche waren immer deutlicher als die Inspirationsgeräusche, die bei einigen Pferden während des ersten Haltens nicht hörbar waren. Von drei Pferden, "Freiheit", "Falknerin" und "Erlyn" war bekannt, daß sie Kehlkopfpfeifer sind. Bei ihnen war das typische Einatmungsgeräusch während des Trabs und des Galopps, sowie in den ersten Minuten des Haltens nach der Bewegung deutlich festzustellen.

Die in der Literatur beschriebene, für das Pferd typische Doppelschlägigkeit der Atmung war in allen Versuchen zu beobachten. Im Schritt waren bei den meisten Pferden während einer Exspirationsphase sogar bis zu vier Atemstöße wahrnehmbar. (Abb.21)

Die Atemfrequenzen der einzelnen Pferde bei den verschiedenen Belastungen sind in der Tabelle 1 zusammengefaßt. In allen Gangarten lagen die Frequenzwerte innerhalb eines großen Schwankungsbereichs. Die niedrigste Frequenz im Schritt hatte das Pferd "Cilly" mit 15 Atemzügen pro Minute. Die höchste Frequenz im Schritt wies das Pferd "Venezuela" mit 118 Atemzügen pro Minute auf. Im Trab betrugen diese Werte 31/Min. (Cilly) und 132/Min. ("Clermont"). Die geringste Zahl der Atemzüge pro Minute wurde im Galopp bei dem Pferd "Erlyn" mit 51 gemessen. Das Pferd "Falknerin" atmete während einer Galoppminute 119 Mal. Bei zwei Pferden, "Clermont" und "Venezuela", lagen die Atemzahlen im Trab höher als im Galopp.

Die Werte im Schritt und Trab waren sehr unterschiedlich. Bei Betrachtung der Frequenzzahlen im Galopp fiel auf, daß sie bei fast allen Pferden unter dem Reiter direkt um 100/Min. lagen. Eine Ausnahme machten hier lediglich "Gibsy" und "Anette" in den ersten drei Minuten der Galopppreprisen. An der Longe wurden bei über der Hälfte aller Pferde ebenfalls Werte um 100/Min. gefunden. Aber auch die Pferde, die beim Longieren in den ersten Minuten niedrige Frequenzen hatten, erreichten in der fünften Minute Werte um 100/Min. Ausnahmen machten nur "Fürstin", "Anette" und "Gibsy", "Gibsy" jedoch nur beim Longieren mit Ausbindezügeln. Beim freien Longieren atmete er in der fünften Galoppminute 103 mal.

Ebenso auffallend wie diese Übereinstimmung der Galoppwerte war das plötzliche Absinken der Frequenzen in der ersten Minute des Haltens nach der Bewegung. Bei drei Pferden, "Flicka", "Venezuela" und "Hosamma", stiegen die Werte allerdings in den ersten fünf Minuten dieser Halteperiode an. Bei dem Pferd "Hosanna" wurde das Atemfrequenzverhalten bis zur 40.Minute verfolgt. Bis zur 10.Minute stiegen die Werte an. In der 40.Minute atmete das Pferd immer noch 60 mal.

Von besonderem Interesse war das Verhalten der Atemfrequenzen der Pferde, die unter drei Bedingungen untersucht wurden. Um eine bessere Übersicht über das Verhalten der sich entsprechenden Werte zu ermöglichen, wurden die ermittelten Ergebnisse in Kurven dargestellt (Abb.3-18).Auf der Abszisse ist die Zeit, auf der Ordinate die Atemfrequenz pro Minute abgetragen. Die Kurve der unter dem Reiter gemessenen Werte wurde rot gezeichnet. Für die Kurve der Werte beim Longieren mit Gurt und Ausbindezügel, wurde grüne Farbe gewählt. Die Kurve der Frequenzwerte, die während des freien Longierens ermittelt wurden, ist blau dargestellt. Um eine leichtere Vergleichsmöglichkeit der ein-

zelnen Werte zu bekommen, wurden sämtliche, bei dem betreffenden Pferd ermittelten Zahlen in Form einer Tabelle unterhalb der Abszisse eingetragen.

Die beiden Pferde, die über Hindernisse gesprungen wurden, waren als ausgesprochen springfreudig bekannt. Während dieser Untersuchungen wurden keine Auszählungen der Atemfrequenzen vorgenommen. Es konnte bei beiden Pferden übereinstimmend beobachtet werden, daß die Atmung während des unmittelbaren Gegenreitens gegen ein Hindernis schneller wurde, als sie vorher im Galopp gewesen war. In der Absprungphase atmen die Pferde ein. Diese Inspiration erfolgte in dem Augenblick, in dem nach dem letzten Galoppsprung die Hinterbeine zum Absprung auffußten. Über dem Hindernis hielten die Pferde die Luft an. Bei der Landung wurde exspiriert. Die Exspiration begann in dem Moment, in dem das erste Vorderbein den Boden berührte.

2. Auswertung der Ergebnisse

Nach diesen Untersuchungen entsteht die interessante Frage, ob beim Pferd eine Synchronisierung zwischen Atmungs- und Bewegungsrhythmus vorhanden ist. Eine solche Beziehung kann einmal nach den Beobachtungen bei den Versuchen festgestellt werden. Zum anderen ist der Vergleich der bei den Versuchen erhaltenen Zahlenwerte von Bedeutung.

Im Schritt und Trab sind durch die gleichzeitige Beobachtung von Pferden und Atemgeräuschen keine eindeutigen Beziehungen zwischen Bewegungsablauf und dem Atemrhythmus festzustellen gewesen. Die sehr unterschiedlichen Werte deuten darauf hin, daß, wenn eine solche Beziehung besteht, diese Wahrscheinlich nur individuell vorhanden ist. Die vier Exspirationsgeräusche während einer Exspirationsphase im Schritt mögen auf den Viertakt der Bewegung in dieser Gangart zurückzuführen sein.

Beim Galopp ist ein Zusammenhang zwischen Atmungs- und Bewegungsrhythmus offensichtlich und in der Literatur beschrieben, z.B. von WITTKE (36).

Die gleichzeitige Beobachtung der unter dem Reiter galoppierenden Pferde und ihrer Atmung ergibt, daß die Pferde bei jedem Galoppsprung einmal ein- und einmal ausatmen. Die absoluten Zahlen liegen bei 100 pro Minute. Bei den Pferden "Venezuela"und "Clermont" sinken die Frequenzen von höheren Werten im Trab auf eine konstante bei 100 liegende Zahl. Die Exspiration erfolgt im Moment des Auffussen des inneren Vorderbeins. Dieses gilt für 16 der 18 unter dem Reiter untersuchten Pferde.

An der Longe verhalten sich ein großer Teil der Pferde anders. Sie atmen unregelmäßig. Einige durch Galopprhythmus bestimmte Atemzüge wechseln mit langsameren ab. Diese ließen keinerlei Beziehung zur Bewegung erkennen.

Ein besonderes Verhalten zeigte das Pferd "Fürstin". Die Stute atmete im Galopp beim Longieren mit Ausbindezügeln bei einem Galoppsprung ein und bei dem folgenden aus. Bis auf drei Pferde atmeten alle am Ende der Galopppreprise einmal pro Galoppsprung.

Zusammenfassend kann gesagt werden, bei den verschiedenen Gangarten des Pferdes konnte nur im Galopp mit Sicherheit eine Beziehung zwischen Atmungs- und Bewegungsrhythmus festgestellt werden. Im Schritt und Trab scheint eine solche Koordination in der Regel nicht vorhanden zu sein.

In diesem Zusammenhang interessiert das Atmungsverhalten der beim Springen über Hindernisse untersuchten Pferde. Beide Pferde atmen bei dieser Untersuchung in dem festgesetzten Rhythmus der Galoppsprünge. Beim unmittelbaren Anreiten gegen den Sprung wurde die Atmung schneller. Im Moment des Auffußens der Hinterbeine zum Absprung atmeten die Pferde ein. Bei der Landung atmeten sie wieder aus. Beide Pferde sind springfreudig. Solche Pferde stürmen, sobald sie direkt in Richtung auf ein Hindernis galoppieren, auf dieses zu. Werden sie von ihrem Reiter daran gehindert, gehen sie "gegen die Hand". Auf dieses "gegen die Hand Gehen" und die dabei entstehende Erregung ist wohl die plötzliche Beschleunigung der Atmung zurückzuführen.

Ein Sprung über ein Hindernis ist als ein verlängerter Galoppsprung anzusehen. So betrachtet, besteht auch hier die selbe Beziehung zwischen Atmungs- und Bewegungsrhythmus wie im Galopp: pro Sprung erfolgt ein Atemzug.

Von besonderem Interesse ist der Vergleich der sich entsprechenden Werte bei den unter drei Bedingungen untersuchten 16 Pferden. Da die Atmung in der Ruhe oft äußerlichen und psychischen Einflüssen unterliegt, wird auf einen Vergleich der im ersten Halten ermittelten Werte verzichtet. Ein signifikanter Unterschied ist hier auch unwahrschein-

lich. Bei der Betrachtung der Kurven (Abb.3-18) fällt auf, daß in den meisten Fällen die Atemfrequenz der Pferde beim Reiten im Schritt und Trab höher ist als beim Longieren. Von den in den Tabellen der Abbildungen 3 bis 18 aufgeführten Werten wurde das Mittel bestimmt und in Abb.19 graphisch dargestellt. Die Zahlen finden sich in der Tabelle 2 unter "Mittelwerte 1". Die Kurven der unter dem Reiter gemessenen Werte liegen hier in allen Gangarten höher.

Im Galopp zeigt ein Teil der Einzelkurven Abb.2,3,4,6,9, 11,14) andere Verhältnisse. Diese wurden in einer zweiten Mittelwertbestimmung berücksichtigt. Die Pferde wurden dazu in zwei Gruppen eingeordnet. In der einen Gruppe finden sich 7 Pferde, bei denen die an der Longe ermittelten Frequenzen etwa mit den unter dem Reiter erhaltenen übereinstimmen. Z.T. liegen sie etwas höher. In die andere werden die 9 Pferde eingestuft, die entweder bei einer oder bei beiden Arten des Longierens anfangs niedrige Frequenzen aufwiesen. Die aus dieser Rechnung resultierenden Werte sind in der Tabelle 2 unter "Mittelwerte 2" zusammengefaßt und in Abb.20 graphisch dargestellt. Aus dem Vergleich der sich entsprechenden Werte ergibt sich also:

1. Die Atemfrequenz liegt im Schritt und Trab bei belasteten Pferden höher als bei unbelasteten.

2. Im Galopp unter dem Reiter atmen die Pferde in dem für diese Gangart typischen Rhythmus. Etwa die Hälfte der Pferde zeigt diesen Rhythmus auch an der Longe. Die leichte Steigerung der Frequenzen ist auf die an der Longe ungünstigere Regulierungsmöglichkeit des Tempos zurückzuführen. Die übrigen Pferde atmen in diesem weniger belastenden Zustand unregelmäßig. Erst am Ende der Galoppreprise wird die Atmung regelmäßig und zeigt die typische Beziehung zum Bewegungsrhythmus.

3. Im Halten nach der Bewegung besteht ein geringer Unterschied der Atemfrequenz.

4. Ein wesentlicher Unterschied im Verhalten der Atemfrequenzen zwischen Longieren mit Ausbindezügeln und dem Longieren ohne Ausbindezügel ist nicht vorhanden.

Weiterhin sollte die Frage untersucht werden, ob aus dem Atemfrequenzverhalten eines Pferdes auf seinen Trainingszustand geschlossen werden kann. Wie bei der Beschreibung des Versuchsmaterials bereits aufgeführt, war der Trainingszustand von 19 Pferden als gut bekannt. 2 Pferde, "Flicka" und "Hosanna", waren nicht im Training. Über den Trainingszustand von "Venezuela" konnten keine Angaben gemacht werden.

Bei 19 Pferden sanken die Atemfrequenzen in der ersten Minute des Haltens nach der Bewegung auf etwa die Hälfte des letzten im Galopp gemessenen Wertes. Bei den drei Pferden"Flicka", "Hosanna" und "Venezuela" stiegen die Werte in dieser Zeit an. Diese Tatsachen erlauben folgende Vermutung: Wird ein Pferd in der beschriebenen Art belastet, und sinkt seine Atemfrequenz in der ersten Minute nach der Belastung nicht etwa auf die Hälfte der in der letzten Galoppminute festgestellten Atemfrequenz ab, dann ist dieses Pferd nicht gut trainiert.

Zum Schluß soll noch auf die Meßdaten, die mit dem EKG-Gerät geschrieben wurden, eingegangen werden. (Abb.21,22). Beide Abbildungen enthalten fünf Atemkurven. Auf diesen Kurven stellen die hohen Ausschläge die Exspiration, die mit kleineren Amplituden die Inspiration dar. Die oberste Kurve zeigt das Bild der Atmung in der Ruhe, die zweite das der Schrittatmung. In der dritten Kurve wird die Atmung im Trab und in der vierten die Atmung im Galopp wiedergegeben. Die unterste Kurve zeigt den Übergang vom Galopp zum Halten. Alle wurden mit einem Vorschub von 12,5 mm pro Sekunde geschrieben. Hierdurch erscheinen die

Schallbilder der Atemzüge gedrängt. Diese Geschwindigkeit wurde jedoch gewählt, um auf den Beispielkurven eine möglichst große Übersicht zu gewinnen. Die Abbildungen zeigen objektiv einige Charakteristika der Atmung, die subjektiv durch Abhören des Empfängers oder der Tonbänder bereits festgestellt wurden. So sind im Schritt bei dem Pferd "Falknerin" deutlich die bei vielen Pferden beobachteten vier Stöße (Maxima der Anblasgeschwindigkeiten) während der Exspirationsphase zu erkennen. Bei beiden Pferden wird vor allem im Trab die Doppelschlägigkeit der Atmung augenscheinlich. Die höhere Atemfrequenz im Galopp bedingt ein schnelleres Einziehen der Luft bei der Inspiration. Dadurch entsteht ein so starker und konzentrierter Inspirationsstrom, daß das auf den Ausatmungsstrom gerichtete Mikrophon reagiert. So ist bei beiden Pferden eine deutliche doppelschlägige Inspiration im Galopp zu erkennen. Die Streifen, auf denen der Übergang vom Galopp zum Halten registriert ist, zeigt interessante Unterschiede. Bei "Falknerin" erfolgt der Übergang direkt bei der Marke 2. Nach 8 kurzen Atemzügen in den ersten 6 Sekunden der Halteperiode folgen bereits längere, langsamere und tiefere. Bei "Flicka" endete der Galopp einen Atemzug nach der Marke 2. Hier folgen in den ersten 6 Sekunden 10 kurze, dann ein längerer und danach wieder stoßweise kurze Atemzüge. Die Frequenz geht dabei nicht zurück.

Da das Mikrophon in den Ausgangsstrom gerichtet gewesen ist und auch erst bei Strömungen gewisser Intensität anspricht, ist mit dieser Form der Aufzeichnung eine exakte zeitliche Analyse der Atemphasen nicht möglich. Trotzdem stellt sie eine wertvolle Ergänzung des Tonbandes dar und wird bei weiterer Entwicklung sicher noch viele Aufschlüsse über das Atmungsverhalten der Pferde in den verschiedenen Gangarten geben.

In dieser Arbeit konnte an Hand von 54 Einzelaufzeich - nungen ein erster Überblick über das normale Verhalten der Atemfrequenzen bei Reitpferden gewonnen werden. Die ermittelten Werte stellen jedoch nur einen Ausgangspunkt für weitere Arbeiten auf diesem Gebiet dar. Die Erfor - schung der hier noch ungeklärten Fragen kann für die Klinik und auch für die Beurteilung des Pferdes bezüglich seiner Verwendung im Reit- und Rennsport von großer Be- deutung sein.

Zusammenfassung

Bei 22 Pferden wurden die Atemfrequenzen in den verschiedenen Gangarten telemetrisch ermittelt.

Die Untersuchung erfolgte erstens unter dem Reiter, zweitens an der Longe ausgebunden und drittens an der Longe ohne Ausbindezügel.

Die Untersuchungen erstreckten sich auf Bewegung im Schritt, Trab und Galopp und den Beginn der Erholungsphase.

Im Galopp besteht eine klare Beziehung zwischen dem Atmungs- und Bewegungsrhythmus. Im Schritt und Trab ist eine solche nicht eindeutig feststellbar.

Die Atemfrequenzen sind im Schritt und Trab unter dem Reiter höher, als bei dem unbelasteten Pferd.

Ein wesentlicher Unterschied im Verhalten der Atemfrequenzen zwischen beiden Arten des Longierens konnte nicht festgestellt werden.

Die drahtlose Übertragung ermöglicht die fortlaufende Aufzeichnung der Atemfrequenzen während der Bewegung in allen Gangarten.

F. Annang: Tabellen und Kurven

Tabelle 1

Frequenzen aller Pferde

1. Pferde, die unter drei Bedingungen untersucht wurden.
2. Pferde, die nur geritten wurden.
3. Pferde, die nur longiert wurden.

		2 Min. Halten		3 Min. Schritt			5 Min. Trab			5 Min. Galopp			5 Min. Halten		
		1	2	1	2	3	1	3	5	1	3	5	1	3	5
1. Allegro:	geritten	33	27	50	56	59	59	87	93	102	100	100	61	45	
	ausgebunden	16	17	33	29	29	32	38	46	67	102	102	48	45	27
	frei	20	17	34	35	36	46	49	60	85	95	108	52	49	29
Freiheit:	geritten	21	25	44	45	52	69	84	86	105	101	105	67	51	
	ausgebunden	21	25	41	45	36	43	55	81	103	105	105	50	60	43
	frei	29	22	47	51	57	57	81	89	105	106	105	62	62	50
Falknerin:	geritten	18	15	59	64	62	81	86	86	102	99	100	44	36	
	ausgebunden	14	13	39	33	29	76	58	61	119	109	109	70	81	51
	frei	17	15	33	29	27	72	59	71	108	109	102	37	38	24
Clermont:	geritten	18	15	39	59	55	83	122	132	96	99	99	38	33	
	ausgebunden	25	22	40	32	33	50	107	132	108	107	105	50	63	31
	frei	23	26	40	35	31	60	73	117	117	109	109	73	72	44

Tabelle 1 = Frequenzen aller Pferde

		2 Min.Halten		3 Min.Schritt			5 Min.Trab			5 Min.Galopp			5 Min.Halten		
		1	2	1	2	3	1	3	5	1	3	5	1	3	5
1. Cilly:	geritten	13	13	30	28	28	48	59	75	98	105	102	54	37	25
	ausgebunden	14	13	15	16	20	36	42	54	103	103	107	29	22	19
	frei	14	12	30	26	18	31	33	32	55	52	96	27	27	25
Flicka:	geritten	36	29	78	87	81	83	88	99	101	104	104	95	95	81
	ausgebunden	29	15	47	56	55	64	80	85	111	110	113	90	86	102
	frei	29	15	49	58	60	67	73	87	112	108	109	90	91	91
Fair Lady:	geritten	33	41	61	67	75	86	83	95	101	111	109	75	67	41
	ausgebunden	15	18	23	20	21	45	45	57	60	96	105	55	64	45
	frei	18	17	40	33	31	58	69	89	113	110	115	59	46	26
Fama:	geritten	33	34	59	57	66	82	82	85	100	101	102	45	38	24
	ausgebunden	21	23	35	38	42	43	50	52	71	62	101	39	33	23
	frei	20	21	38	35	46	49	49	55	68	71	102	37	33	24
Don:	geritten	15	15	40	42	44	60	75	81	102	100	100	62	59	49
	ausgebunden	21	21	40	44	43	49	53	60	107	109	109	59	52	41
	frei	22	20	38	37	41	45	46	49	106	107	108	60	58	44
Callas:	geritten	21	22	50	65	72	65	73	79	107	106	107	36	31	23
	ausgebunden	23	22	38	48	42	51	62	65	66	83	105	27	31	23
	frei	25	26	37	36	37	45	55	59	72	107	108	34	31	24

Tabelle 1 = Frequenzen aller Pferde

		2 Min.Halten		3 Min.Schritt			5 Min.Trab			5 Min.Galopp			5 Min.Halten		
		1	2	1	2	3	1	3	5	1	3	5	1	3	5
1. Hasso:	geritten	18	19	43	47	50	53	61	63	102	99	106	39	39	26
	ausgebunden	16	13	38	40	41	46	42	48	104	107	109	42	38	25
	frei	17	18	41	37	45	43	40	49	106	107	105	41	38	24
Erlyn:	geritten	18	19	42	37	41	62	88	92	97	96	98	50	33	26
	ausgebunden	17	14	24	22	24	31	29	41	61	51	101	32	32	19
	frei	17	16	23	24	22	38	63	83	98	97	97	35	27	21
Fürstin:	geritten	19	19	59	55	56	67	82	99	98	97	97	35	27	21
	ausgebunden	17	16	51	47	48	44	48	50	53	56	58	38	47	26
	frei	25	20	50	36	36	54	61	65	72	62	65	52	51	28
Anaconda:	geritten	19	19	41	46	47	75	77	85	100	104	104	42	35	26
	ausgebunden	21	18	47	46	48	74	83	86	109	108	107	51	47	28
	frei	16	14	38	37	37	54	62	67	103	106	107	50	43	26
Anette:	geritten	22	23	47	51	52	62	67	71	85	82	103	37	31	26
	ausgebunden	18	17	39	33	33	52	58	60	69	60	57	37	42	26
	frei	18	20	44	37	40	44	61	64	71	59	57	40	44	35
Gibsy:	geritten	18	23	49	46	67	57	74	71	87	92	99	53	47	32
	ausgebunden	20	16	34	33	35	49	54	57	76	83	75	42	37	27
	frei	18	17	29	28	31	46	52	60	77	90	103	46	39	25

Tabelle 1 = Frequenzen aller Pferde

	2 Min.Halten		3 Min.Schritt			5 Min.Trab			5 Min.Galopp			5 Min.Halten		
	1	2	1	2	3	1	3	5	1	3	5	1	3	5
2. Venezuela:	34	33	106	118	111	123	117	123	101	102	101	117	108	102
Bafant:	12	12	25	21	21	36	48	58	104	102	104	58	44	23
3. Normandie:	23	22	65	69	68	81	87	93	106	103	104	69	61	49
Poppäa:	18	19	41	38	39	45	58	74	56	107	109	66	60	48
Belle voicina:	20	22	48	47	53	68	76	77	98	88	96	64	58	46
Hosanna:	64	56	60	45	62	62	71	74	96	101	106	80	92	101

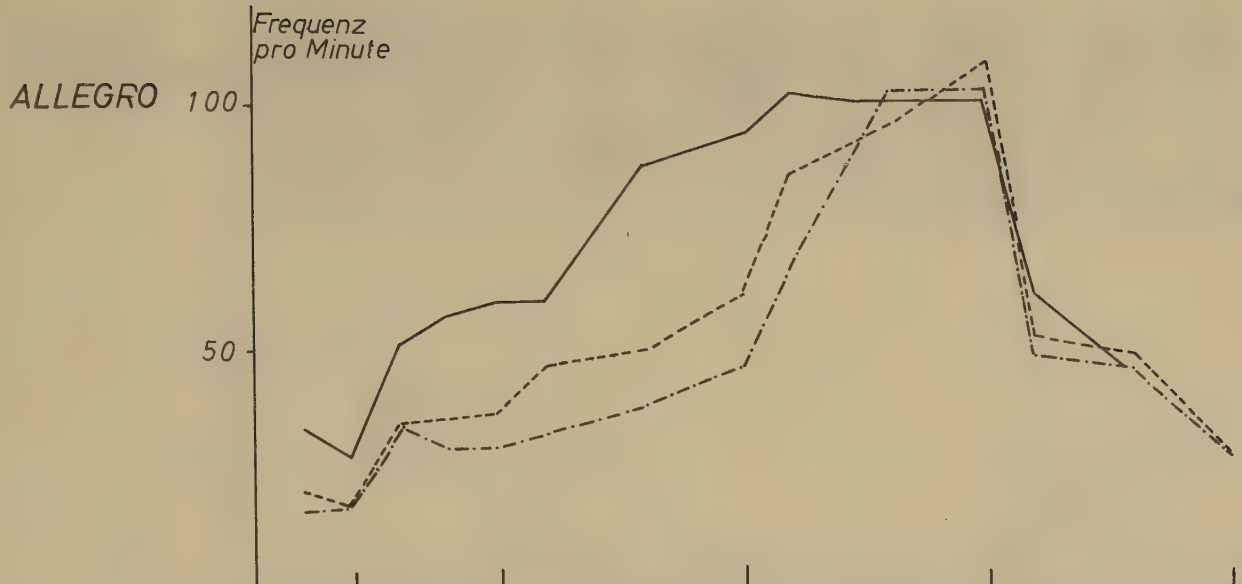
Tabelle 2

Mittelwerte 1:

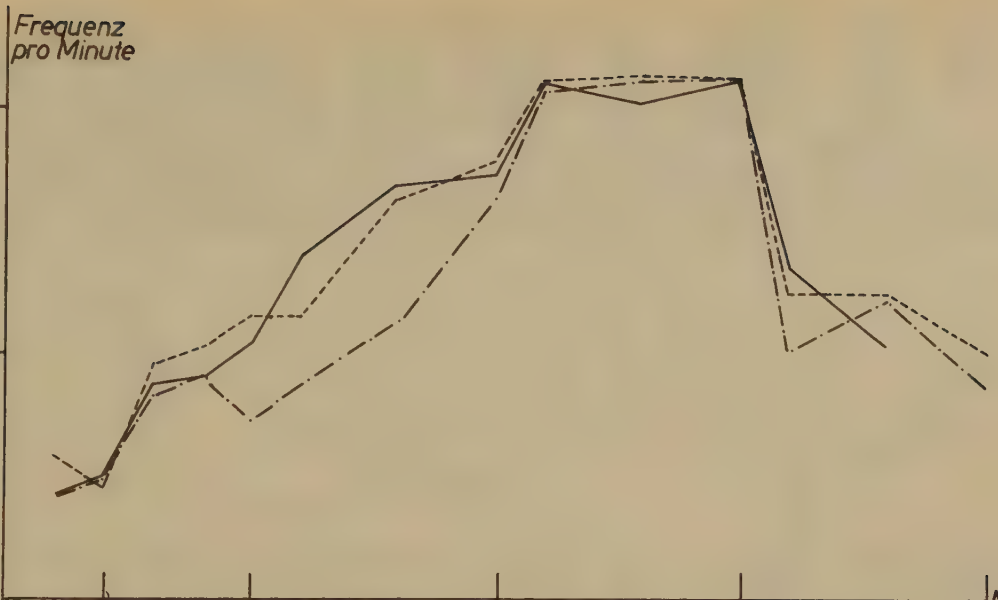
	3 Min.Schritt			5 Min.Trab			5 Min.Galopp			5 Min.Halten		
	1.	2.	3.	1.	3.	5.	1.	3.	5.	1.	3.	5.
geritten	49	53	57	68	81	87	99	100	102	52	44	33
ausgebunden	37	36	36	49	57	63	87	91	98	47	49	35
frei	38	36	37	51	58	69	92	94	100	50	47	34

Mittelwerte 2:

	3 Min.Schritt			5 Min.Trab			5 Min.Galopp			5 Min.Halten		
	1.	2.	3.	1.	3.	5.	1.	3.	5.	1.	3.	5.
geritten	49	53	57	68	81	87	99	100	102	52	44	33
ausgebunden	37	36	36	49	57	63	109 / 70	108 / 77	108 / 90	47	49	35
frei	38	36	37	51	58	69	108 / 79	107 / 83	106 / 95	50	47	34

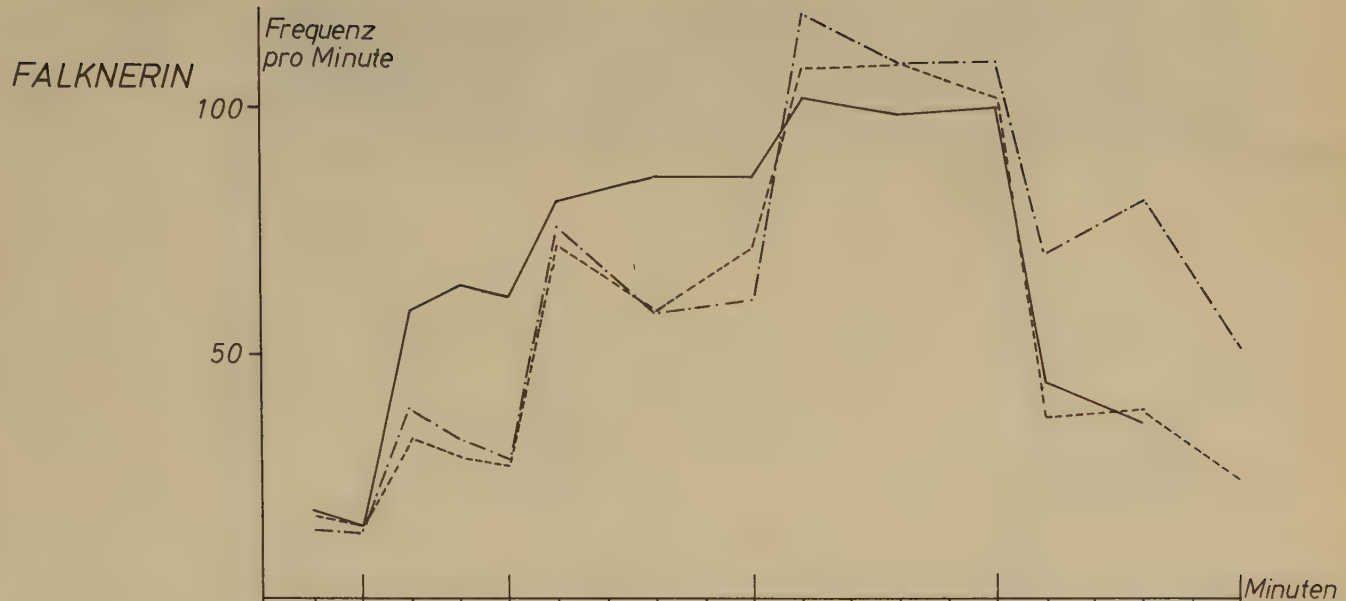


	1	2	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	HALT		SCHRITT			TRAB					GALOPP					HALT				
—— geritten	33	27	50	56	59	59		87		93	102		100		100	61		45		
–·–·– ausgebunden	16	17	33	29	29	32		38		46	67		102		102	48		45		27
----- frei	20	17	34	35	36	46		49		60	85		95		108	52		49		29

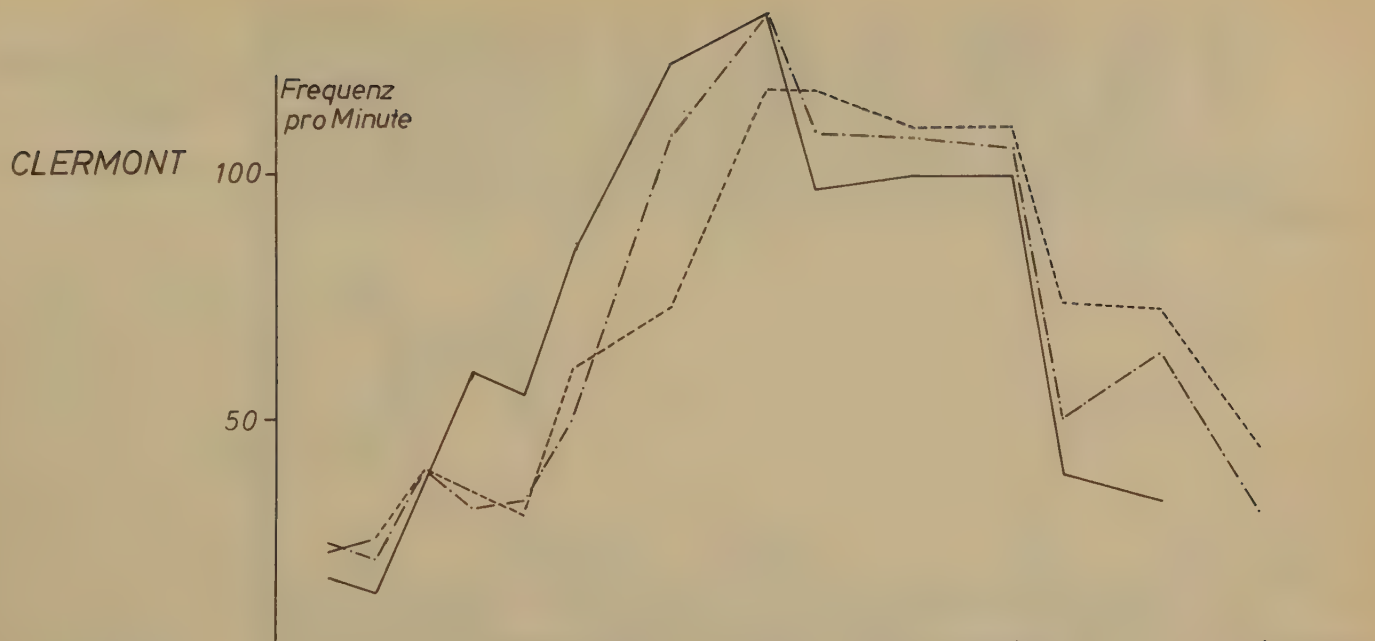


	1	2	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	HALT		SCHRITT			TRAB					GALOPP					HALT				
—— geritten	21	25	44	45	52	69		84		86	105		101		105	67		51		
-·-·- ausgebunden	21	25	41	45	36	43		55		81	103		105		105	50		60		43
---- frei	29	22	47	51	57	57		81		89	105		106		105	62		62		50

Minuten

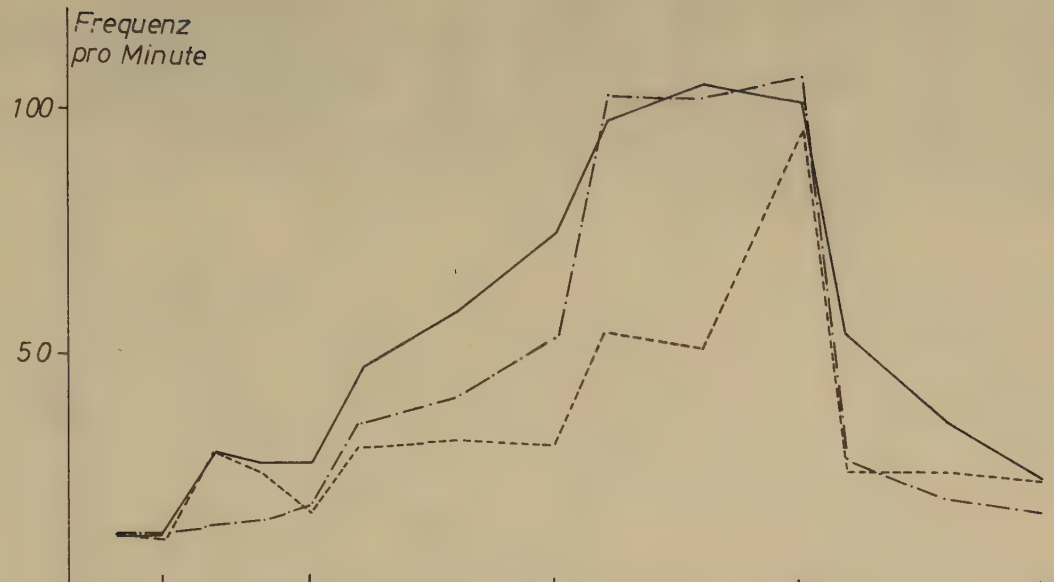


	1	2	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	HALT		SCHRITT			TRAB					GALOPP					HALT				
—— geritten	18	15	59	64	62	81		86		86	102		99		100	44		36		
-·-·- ausgebunden	14	13	39	33	29	76		58		61	119		109		109	70		81		51
---- frei	17	15	33	29	27	72		59		71	108		109		102	37		38		24



	1	2	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	HALT		SCHRITT			TRAB					GALOPP					HALT				
—— geritten	18	15	39	59	55	83		122		132	96		99		99	38		33		
–·–·– ausgebunden	25	22	40	32	33	50		107		132	108		107		107	50		63		31
----- frei	23	26	40	35	31	60		73		117	117		109		109	73		72		44

CILLY



	1	2	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	HALT		SCHRITT			TRAB					GALOPP					HALT				
—— geritten	13	13	30	28	28	48		59		75	98		105		102	54		37		25
-·-·- ausgebunden	14	13	15	16	20	36		42		54	103		103		107	29		22		19
---- frei	14	12	30	26	18	31		33		32	55		52		96	27		27		25

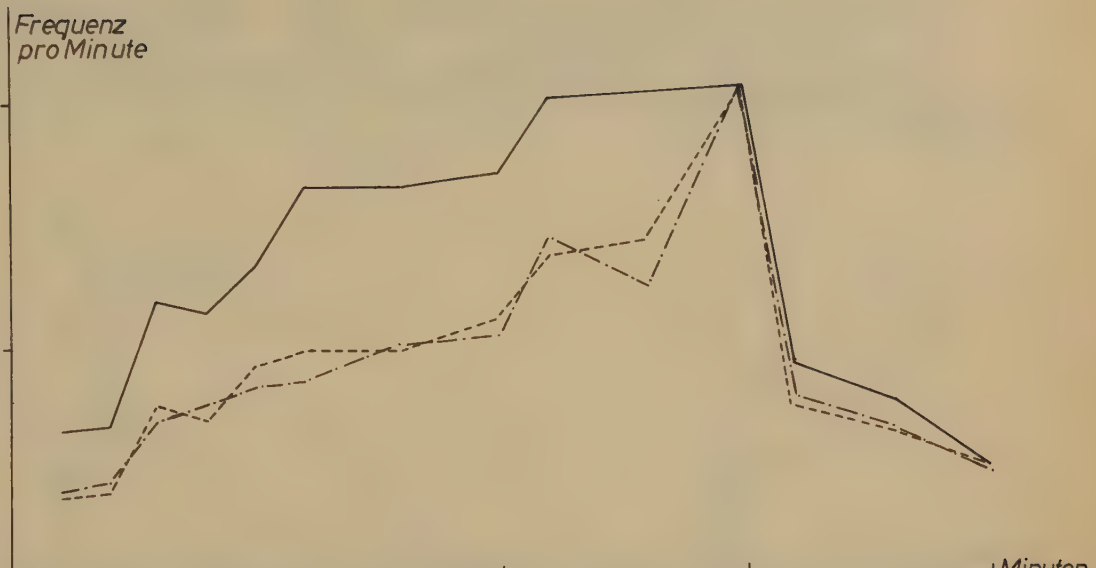
FLICKA

	1	2	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	HALT		SCHRITT			TRAB					GALOPP					HALT				
—— geritten	36	29	78	87	81	83		88		99	101		104		104	95		95		81
–·– ausgebunden	29	15	47	56	55	64		80		85	111		110		113	90		86		102
---- frei	29	15	49	58	60	67		73		87	112		108		109	90		91		91

FAIR LADY

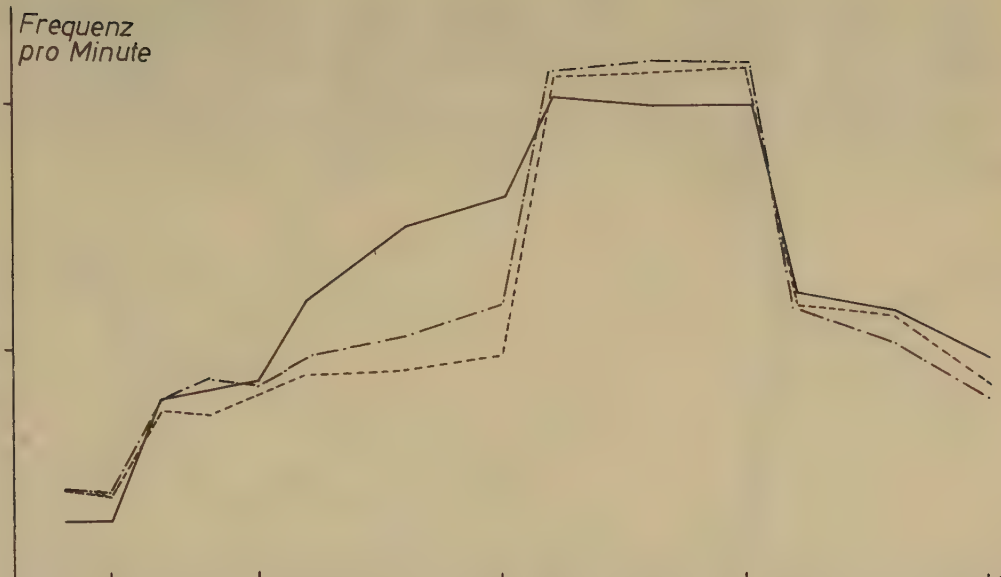
	1	2	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	HALT		SCHRITT			TRAB					GALOPP					HALT				
—— geritten	33	41	61	67	75	86		83		95	101		111		109	75		67		41
—·— ausgebunden	15	18	23	20	21	45		45		57	60		96		105	55		64		45
---- frei	18	17	40	33	31	58		69		89	113		110		115	59		46		26

FAMA



	1	2	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	HALT		SCHRITT			TRAB					GALOPP					HALT				
—— geritten	33	34	59	57	66	82		82		85	100		101		102	45		38		24
-·-·- ausgebunden	21	23	35	38	42	43			50	52	71		62		101	39		33		23
---- frei	20	21	38	35	46	49		49		55	68		71		102	37		33		24

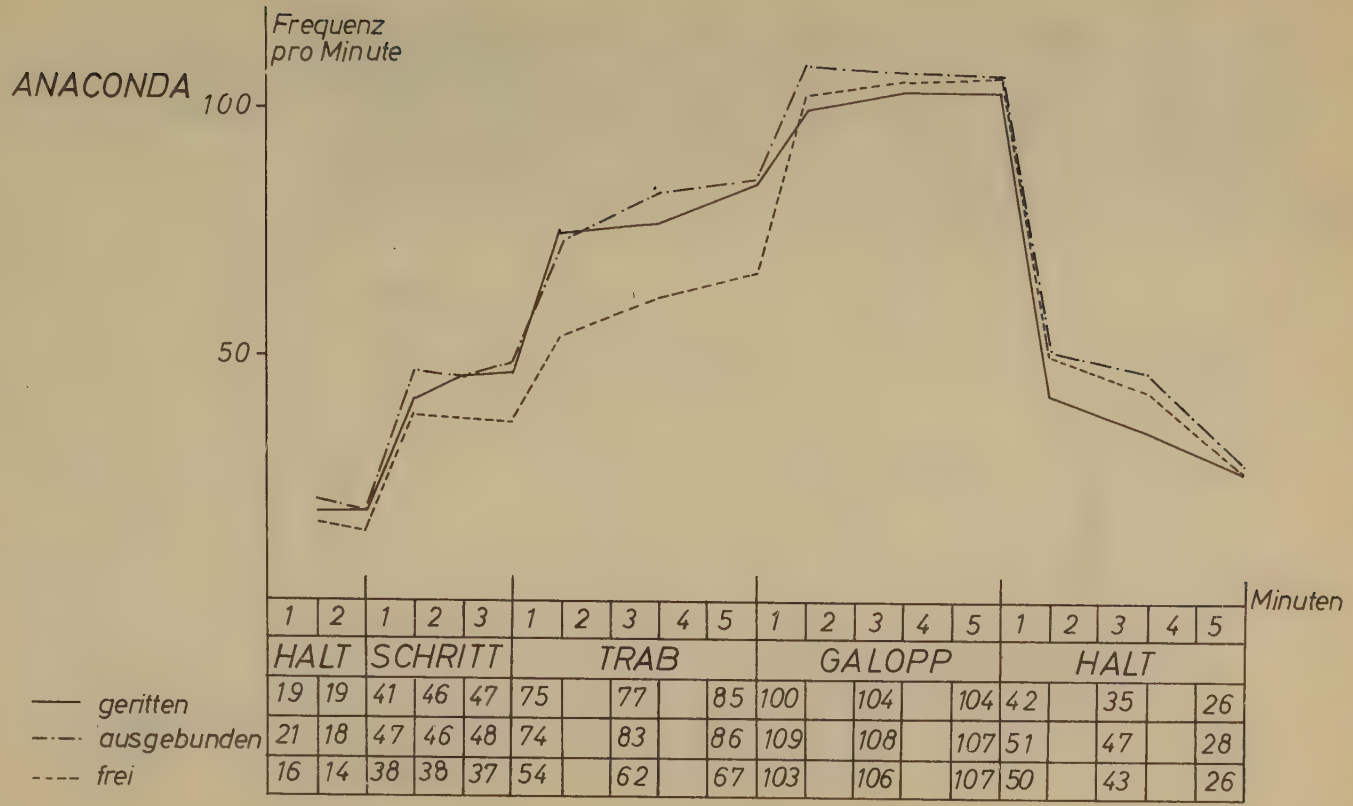
DON



	1	2	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	HALT		SCHRITT			TRAB					GALOPP					HALT				
—— geritten	15	15	40	42	44	60		75		81	102		100		100	62		59		49
—·— ausgebunden	21	21	40	44	43	49		53		60	107		109		109	59		52		41
---- frei	22	20	38	37	41	45		46		49	106		107		108	60		58		44

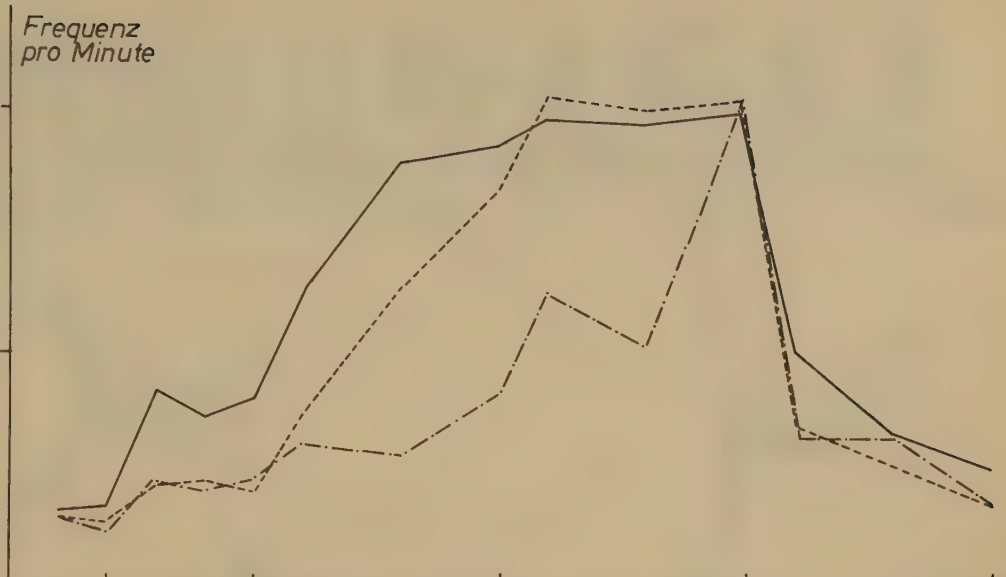
CALLAS

	1	2	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	HALT		SCHRITT			TRAB					GALOPP					HALT				
—— geritten	21	22	50	65	72	65		73		79	107		106		107	36		31		23
—·— ausgebunden	23	22	38	48	42	51		62		65	66		83		105	27		31		24
----- frei	25	26	37	36	37	45		55		59	72		107		108	34		31		24

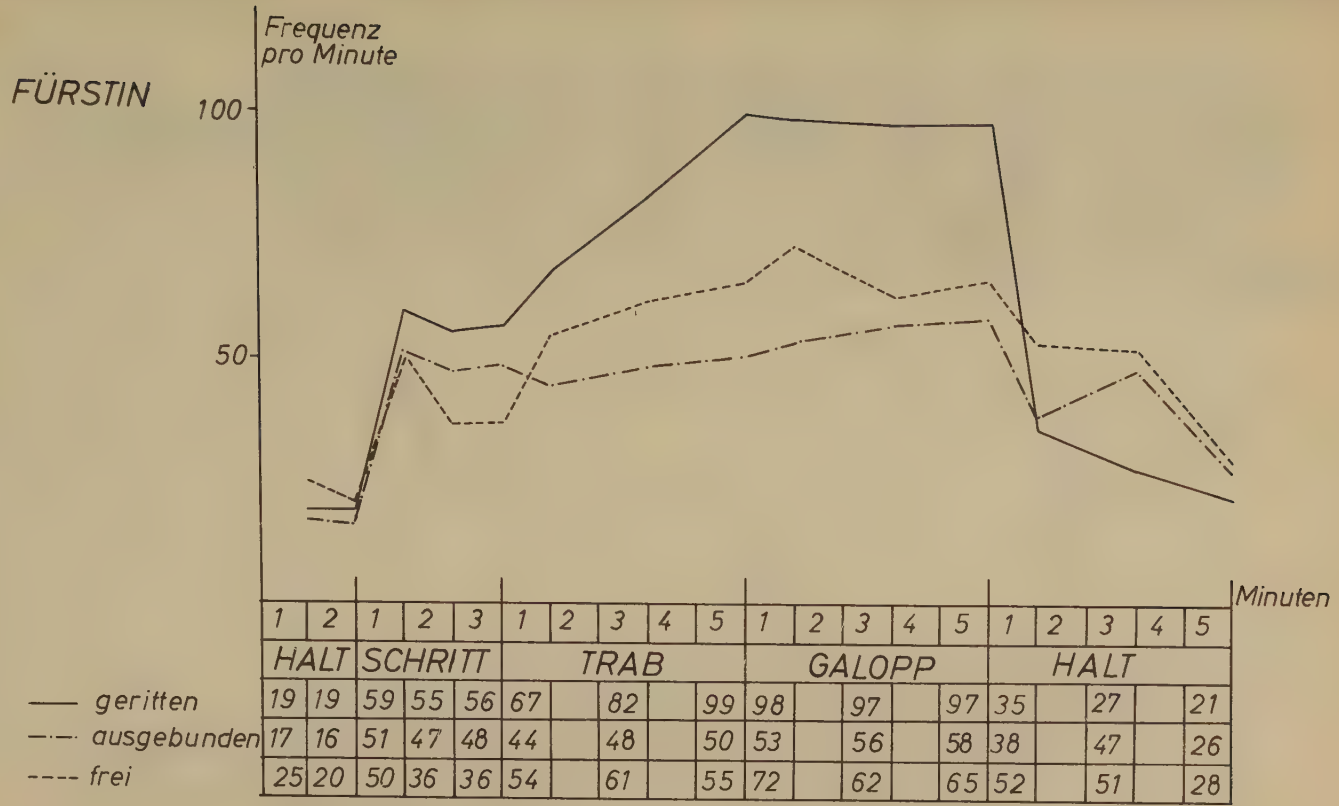


	1	2	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	HALT		SCHRITT			TRAB					GALOPP					HALT				
geritten	19	19	41	46	47	75		77		85	100		104		104	42		35		26
ausgebunden	21	18	47	46	48	74		83		86	109		108		107	51		47		28
frei	16	14	38	38	37	54		62		67	103		106		107	50		43		26

ERLYN



	1	2	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Minuten
	HALT		SCHRITT			TRAB					GALOPP					HALT					
—— geritten	18	19	42	37	41	62		88		92	92		96		98	50		33		26	
—·—· ausgebunden	17	14	24	22	24	31		29		41	61		51		101	32		32		19	
---- frei	17	16	23	24	22	38		63		83	102		99		101	35		27		19	



	1	2	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	HALT		SCHRITT			TRAB					GALOPP					HALT				
—— geritten	19	19	59	55	56	67		82		99	98		97		97	35		27		21
—·— ausgebunden	17	16	51	47	48	44		48		50	53		56		58	38		47		26
---- frei	25	20	50	36	36	54		61		55	72		62		65	52		51		28

HASSO

1	2	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
HALT		SCHRITT			TRAB					GALOPP					HALT				
18	19	43	47	50	53		61		63	102		99		106	39		39		26
16	13	38	40	41	46		42		48	104		107		109	42		38		25
17	18	41	37	45	43		40		49	106		107		105	41		38		24

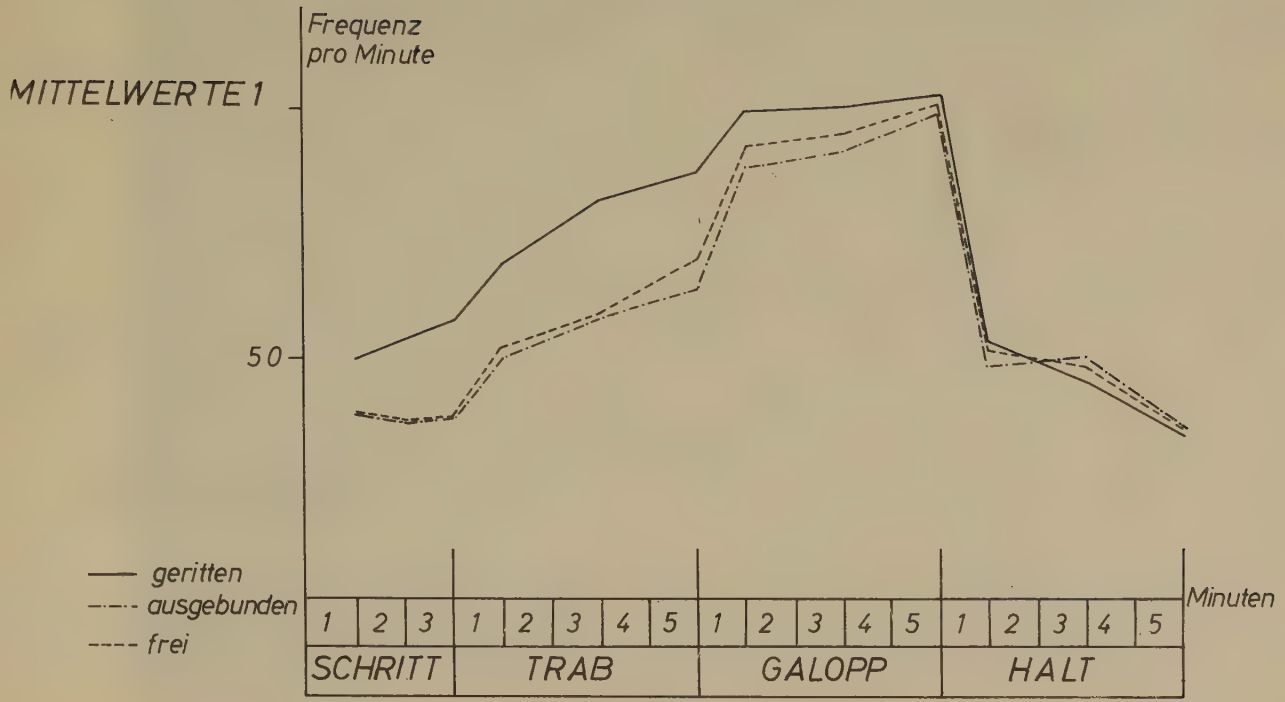
—— geritten
–·–·– ausgebunden
---- frei

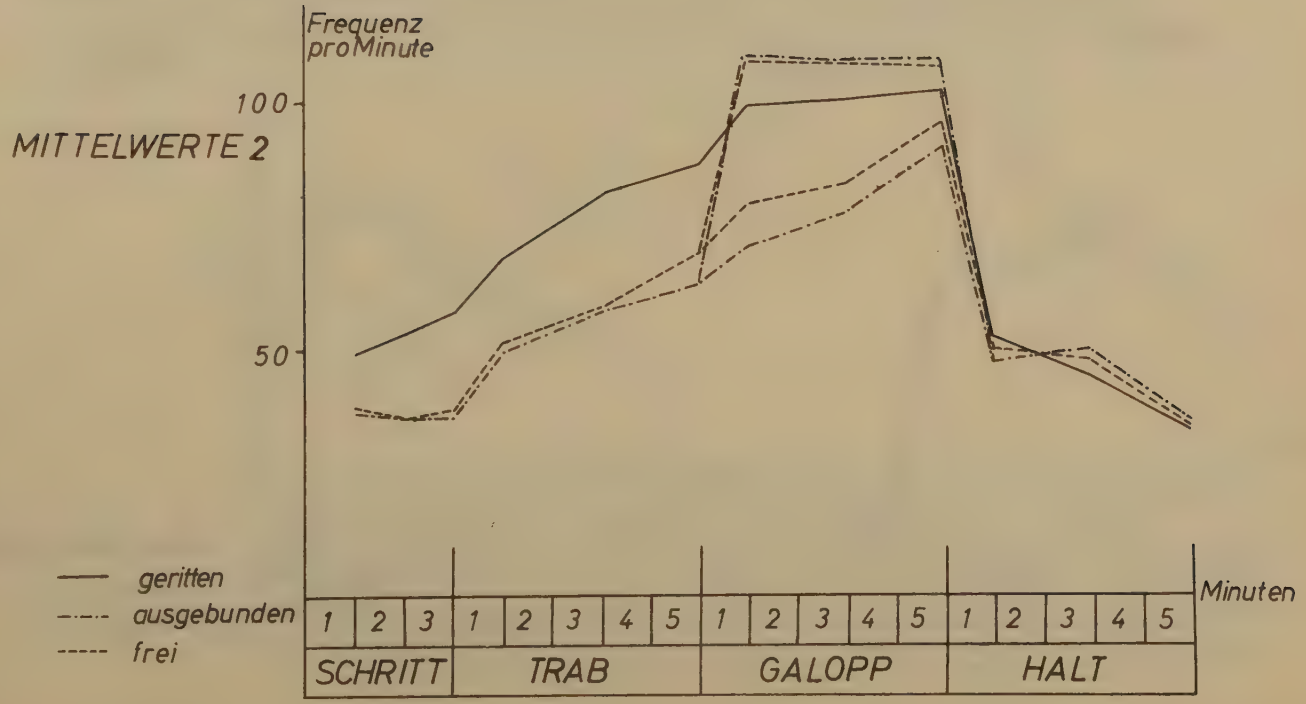
ANETTE

	1	2	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Minuten
	HALT		SCHRITT			TRAB					GALOPP					HALT					
—— geritten	22	23	47	51	52	62		67		71	85		82		103	37		31		26	
—·— ausgebunden	18	17	39	33	33	52		58		60	69		60		57			42		26	
---- frei	18	20	44	37	40	44		61		64	71		59		57	40		44		35	

GIBSY

	1	2	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	HALT		SCHRITT			TRAB					GALOPP					HALT				
—— geritten	18	23	49	46	67	57		74		71	87		92		99	53		47		32
–·–·– ausgebunden	20	16	34	33	35	49		54		57	76		83		75	42		37		27
----- frei	18	17	29	28	31	46		52		60	77		90		103	46		39		25


MITTELWERTE 1
Frequenz
pro Minute
50
geritten
ausgebunden
frei
1 2 3 1 2 3 4 5 1 2 3 4 5 1 2 3 4 5
Minuten
SCHRITT
TRAB
GALOPP
HALT


Frequenz
pro Minute
100
50
MITTELWERTE 2
geritten
ausgebunden
frei
Minuten
1 2 3 1 2 3 4 5 1 2 3 4 5 1 2 3 4 5
SCHRITT
TRAB
GALOPP
HALT

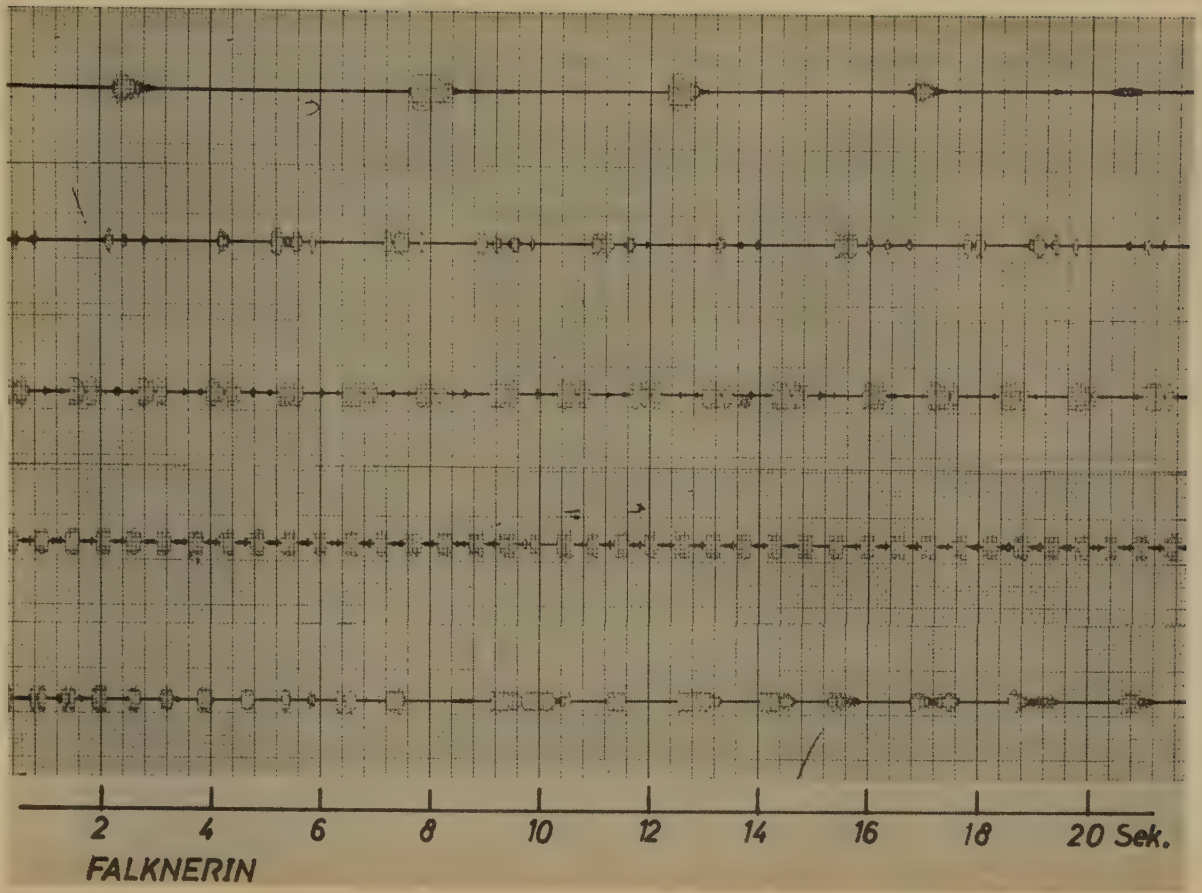


Abb. 21

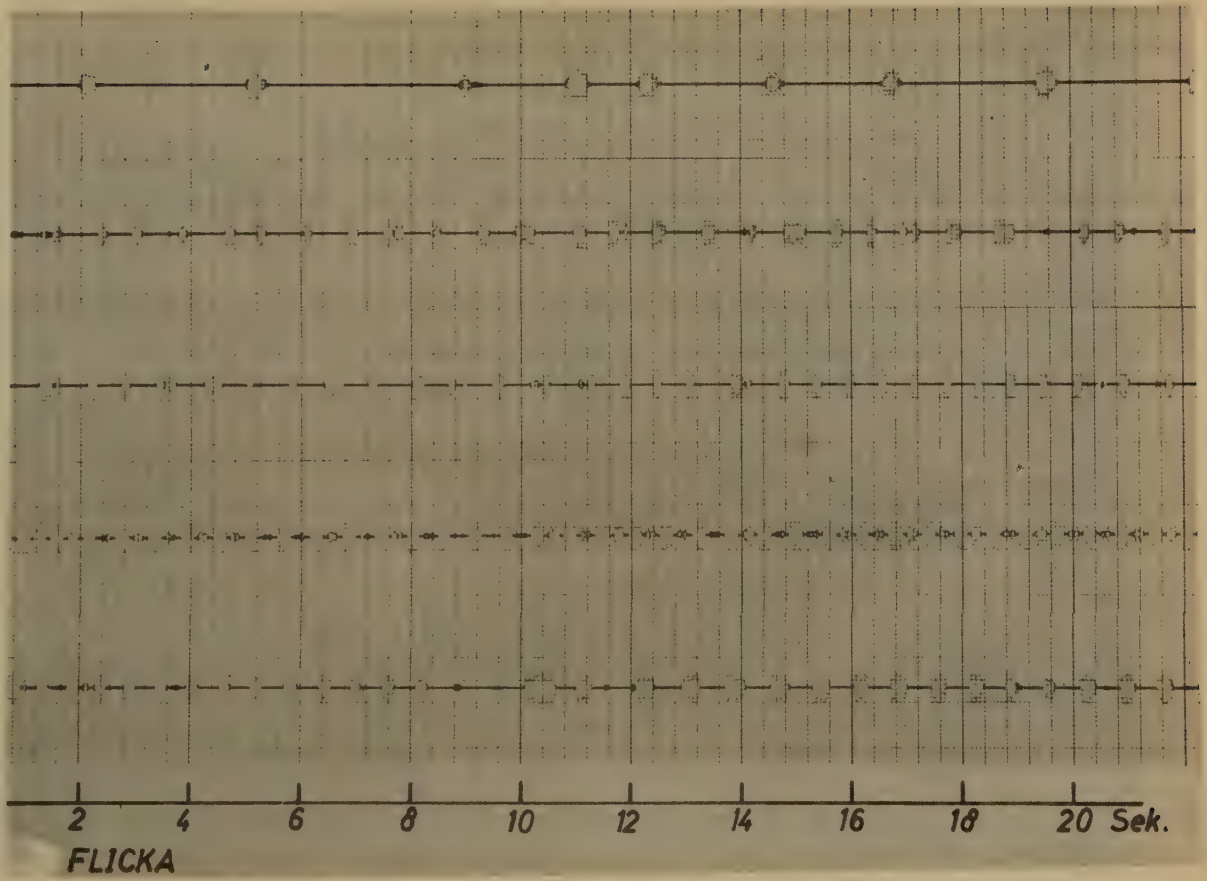


Abb. 22

Literaturverzeichnis:

1. Anthony, A.J.(1937) : Funktionsprüfung der Atmung J.A. Barth, Leipzig

2. Anthony, A.J. und R. Hansen (1954) : Lungenventilation und Atmung in der Schwangerschaft Z. Geburtsh. 101, 186

3. Bartels, H., Bucherl, W. Hertz, G.A., Rodewald, G., Schwab, H. (1959) : Lungenfunktionsprüfungen. Methoden und Beispiele klinischer Anwendung. Springer, Berlin- Göttingen- Heidelberg.

4. Bass, E. (1927) : Über objektive Aufzeichnung von Schallbildern normaler und pathologischer Atemgeräusche mittels einer neuen Methode. Verhandl. d. dtsch. Ges. f. inn. Med. 345

5. Beakley, W.R., Bligh, J. and W. Risket (1953) : A pneumotachograph for cattle J. Physiol. 121, 40 P

6. Belfort, J.A. (1956) : Körpertemperatur, Puls, Atemfrequenz und Körpergewicht im Verhältnis zur Leistung von Rennpferden. Rev. Med. vet. Caracas 15,107

7. Bendele, R. (1911) : Der Druck im Cavum pleurae des Pferdes. Pflügers Arch. Physiol. 139 593

8. Börnert,D., Seidel,H.
Maiwald,D. und G.Börnert
(1964) : Drahtlos übertragene EKG-Ableitungen vom freibeweglichen Rind.
Arch.exp.Vet.Med. 18, 701

9. Börnert,D., H.Seidel
(1964) : Drahtlose EKG-Ableitungen vom beweglichen Pferd.

10. Bretschger, H.J. (1925) : Die Geschwindigkeitskurve der menschlichen Atemluft (Pneumotachogramm)
Pflügers Arch.Physiol.210, 134

11. Cardinet,G.H., Fowler,ME.
Tyler, W.S. (1963) : Heart rates and respiratory rates for evaluating performance in horses during endurance trail ride competition.
J.Amer.Vet.Med.Ass.143,1303

12. McCutcheon,F.H. (1951) : The mammalian breathing mechanism.
J.Cellul.Comp.Physiol.37, 477

13. Dukes, H.H. (1955) : The physiology of domestic animals.
Comstock publ.ass.Ithaka, New York.

14. Fleisch, A. (1925) : Der Pneumotachograph: ein Apparat zur Geschwindig - keitsregistrierung der Atemluft.
Pflügers Arch.Physiol. 209, 713

15. Fleisch, A. (1931) : Vergleichende Untersuchungen über Pneumotachographen. Pflügers Arch.Physiol. 227, 322

16. Forster, A. (1935) : Die Atemtypen von Pferd, Rind, Hund und Mann, Wien.Tierärzt.Wschr.22, 97

17. Frucht, A.H. u. K. Otto (1958) : Kleinstsender zur drahtlosen Übertragung biologischer Meßgrößen vom freibeweglichen Menschen oder Tier. Dt.Gesch. Gesundheitswesen 13, 1416

18. Gehring, K. (1939) : Untersuchungen über Kreislauf und Atmung im Hinblick auf die Leistungsprüfung des Pferdes. Z. Tierzüchtung 42, 317

19. Hochrein, M. (1956) : Über Pneumotachographie Pflügers Arch.Physiol. 219 753

20. Hutchinson, J.(1896) : On the capacity of the lungs and on the respiratory functions with a view of establishing a precise and easy method of detecting disease by the spirometer. Med.Chir.Trans. 29, 137 zit. nach Anthony (1)

21. Huxdorf, W. (1953) : Respirationsversuche an landwirtschaftlichen Nutztieren, ein Mittel zur besseren Beurteilung und rationelleren Nutzung der tierischen Arbeitskräfte. Züchtungskunde 8, 6

22. Huxdorf, W. (1933) : Die Beurteilung von Zucht- und Arbeitspferden auf Grund der Ergebnisse von Respirationsversuchen. Züchtungskunde 8, 250

23. Zu Jeddeloh,B. (1938) : Beiträge zur Physiologie u. Pathologie der Atembewe - gungen (Untersuchungen mit Pneumograph und Pneumotachograph an Männern) Zschr.f.d.ges.exp.Med. 102, 542

24. Kasanskij, D. (1927) : Zur Frage der Methodik der Registrierung der Atembewegung von angeschirrten Pferden bei schnellen Gangarten. Prakticeskaja veterinarija i. Konevodsto 2, 57

25. Ketz,H.J. in Kolb,E (1962) : Lehrbuch der Physiologie der Haustiere. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena

26. Kopplow, H.J. (1960) : Untersuchungen über den Durchlußwiderstand in der Luftröhre des Pferdes. Inaug.Diss., Berlin

27. Krogh,A. (1922) : Ein Respirationsapparat zur klinischen Bestimmung des Energieumsatzes des Menschen. Wien.Klin.Wschr., 290

28. Lord, R.D.,Bellrose,F.C. Cochran, W.W. (1962) : Radiotelemetry of the respiration of a flying duck. Science 137, 39

29. Morrow, P.E. und R.E.Vosteen (1953) : Pneumotachographic studies in man and dog incorporating a portable wireless transducer. J.Appl.Physiol 5, 348

30. Rossier,P.H. Bühlmann, A.u.Wiesinger,K. (1956) : Physiologie und Pathophysiologie der Atmung. Springer Verlag,Berlin-Göttingen-Heidelberg

31. Schaefer, H. (1944) : Ein einfaches Gerät zur Registrierung der Atmung und anderer mechanischer Vorgänge. Pflügers Arch.Physiol.247, 606

32. Scheunert, A. Trautmann A. (1957) : Lehrbuch der Veterinär-Physiologie. Paul Parey in Berlin + Hamburg

33. Spörri, H. und W.Leemann (1964) : Zur Untersuchung der Lungenmechanik bei Großtieren. Schw.Arch.Tierheilkunde 106, 699

34. Suchodolskala, E.J(1960) : Die Rhinographie bei Rindern und Pferden. Veterinarija, Moskau 2, 60

35. Suchodolskaja, E.J(1961) : Die Rhinographie bei Störungen der Bronchiendurchgängigkeit bei Pferden. Veterinarija, Moskau 38, 67

36. Wittke, G. (1957) : Ansätze zu einer Atemphysiologie des Pferdes. Habil.-Schrift, Berlin

37. Mittke,G. (1959) : Über Atmungsfunktionen des Pferdes.
XVI Congreso Mundial de Veterinaria,Madrid 2, 25

38. Mittke,G. (1963) : Der Atmungstyp des Pferdes.
Berl.Münch.Tierärztl.Wschr. 76, 235

39. Mittke,G und F.J.Haberich (1957) : Atmung und Puls des Pferdes in Ruhe und Bewegung.
I. Mitteilung: Zeitliche Analyse der Atmung bei Ruhe, Schritt und Trab.
Z. Biol. 109, 401

40. Mittke,G. und F.J.Haberich (1958) : Atmung und Puls des Pferdes in Ruhe und Bewegung.
II. Mitteilung: Frequenzänderungen beim Übergang von Ruhe in Bewegung und beim Wechsel der Gangart.
Z. Biol. 110, 280

41 Mitzschmausen,O. (1895) : Ein neuer Apparat zur Messung der Brustatmung.
Münch.med.Wschr., 213
zit.nach Anthony (1)

42. Zimmer,K. (1936) : Methoden zur Messung der Atemfrequenz bei Vögeln.
Sitzgsber.Ges.naturforsch. Freunde Berl. r.1-3, 142

43. Zuntz,N. und O.Lehmann (1889) : Untersuchungen über den Stoffwechsel des Pferdes bei Ruhe und Arbeit.
Landw.Jahrb. 18, 1

An dieser Stelle danke ich ganz besonders meinem verehrten Chef, Herrn Professor Dr. E. Becker, für die Überlassung des Themas und für die mir jederzeit gewährte freundliche Unterstützung bei der Durchführung der Versuche und bei der Auswertung der Ergebnisse.

Mein Dank gilt außerdem Herrn Professor Dr.G. Wittke für seine fachlichen Ratschläge bei der Anfertigung dieser Arbeit.

L e b e n s l a u f

Am 29.8.1938 wurde ich als Sohn des Studienrates Dr. Werner Specht und seiner Ehefrau, der Studienrätin Dr. Käthe Specht, geb. Schütt in Hamburg geboren. Im Herbst 1944 kam ich zur Grundschule in Reinbek/Holst. Ab 1948 besuchte ich den altsprachlichen Zweig der Hansa-Schule in Hamburg-Bergedorf. Dort legte ich im Februar 1956 die Reifeprüfung ab.

Im Sommersemester 1956 begann ich mit dem Studium der Veterinärmedizin in Gießen. Im Sommersemester 1959 bestand ich dort die tierärztliche Vorprüfung.
Das Wintersemester 1959/60 studierte ich in Wien.

Vom Sommersemester 1960 an setzte ich mein Studium an der Veterinärmedizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin fort und beendete es im Dezember 1962 mit dem Staatsexamen.

Am 1. Januar 1963 wurde ich wissenschaftlicher Hilfsassistent an der Klinik für Pferdekrankheiten der FU Berlin. Im Juli 1963 erhielt ich meine Bestallung als Tierarzt. Seit Oktober 1963 bin ich mit der Wahrnehmung der Stelle eines wissenschaftlichen Assistenten an der Klinik für Pferdekrankheiten beauftragt.